

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

MODERNIZACE ŘÍZENÍ DVOJOSÉHO MANIPULÁTORU

CONTROL MODERNIZATION OF TWO-AXIS MANIPULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ MEJZLÍK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PAVEL HOUŠKA, PH.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
Ústav automatizace a informatiky
Akademický rok: 2012/2013

Zadání závěrečné práce

student(ka): Jiří Mejzlík
který/která studuje v **bakalářském studijním programu**
obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Modernizace řízení dvojosého manipulátoru

v anglickém jazyce:

Control modernization of two-axis manipulator

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce řeší problematiku nahrazení releového řízení jednoúčelového manipulátoru, digitálním řízením s frekvenčním měničem.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznamte se se stávajícím řízením manipulátoru a parametry požadovanými technologií.
2. Analyzujte aktuální potřeby na řízení manipulátoru a navrhnete vhodná řešení problému.
3. Zvolte řídicí systém, ovládací prvky a snímače pro zvolené řešení.
4. Navržené řešení realizujte.

Seznam odborné literatury:

- [1] Pavelka J., Čěrovský Z., Javůrek J., Elektrické pohony, Nakladatelství ČVUT, Praha 2003
- [2] Skalický J., Elektrické servopohony, Nakladatelství VUT, Brno
- [3] Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors, 2004, Springer-Verlag, ISBN 0-378-00750-4
- [4] Noskiewič, P.: Modelování a identifikace systému, Montanex a.s., Ostrava 1999, ISBN 80-7225-030-2

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Houška, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.
V Brně, dne 21.11.2012

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce řeší modernizaci řízení dvouosého manipulátoru, který je součástí galvanizační linky. V úvodní části je popsáno původní řešení se zhodnocením aktuálního stavu a specifikace požadavků na modernizaci zařízení. Výběr navrženého řízení vychází z analýzy možných řešení, která jsou v této práci popsána. V další části se práce zabývá výběrem vhodných komponentů a popisuje průběh realizace.

ABSTRACT

The bachelor thesis addresses the modernization of two-axis manipulator that is a part of the galvanizing line. The introductory section describes and evaluates the current situation and specifies the requirements for the device modernization. The selection of the proposed control is based on the analysis of possible solutions which are described in this work. The next part deals with the selection of suitable components and describes the process of implementation.

KLÍČOVÁ SLOVA

Manipulátor, řízení, programovatelný automat, HMI, frekvenční měnič, motor, Profibus, distribuovaná jednotka, analogový vstupní modul, elektromechanické odměřování polohy, bezkontaktní odměřování polohy, triangulační snímač, TOF snímač.

KEYWORDS

Manipulator, control, programmable logic controller, HMI, frequency convertor, motor, Profibus, distributed unit, analog input module, electromechanical position measurement, contactless position measurement, triangulation sensor, time of flight sensor.

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Prohlašuji, že předkládaná bakalářská práce je mojí původní autorskou prací, kterou jsem vypracoval pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím uvedené literatury.

V Brně 23.5.2013

Jiří Mejzlík

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MEJZLÍK, J. *Modernizace řízení dvojosého manipulátoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Houška, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Houškovi, Ph.D. za cenné rady, podněty a odborné vedení.

Obsah:

	Zadání závěrečné práce.....	3
	Abstrakt.....	5
	Prohlášení o originalitě.....	7
	Poděkování.....	9
1	Úvod.....	13
2	Stávající řešení.....	15
2.1	Popis galvanizační linky.....	15
2.2	Zhodnocení stavu.....	16
3	Modernizace zařízení.....	19
3.1	Požadavky na modernizované zařízení.....	19
3.2	Návrh modernizace.....	19
3.3	Popis pracovního cyklu manipulátoru.....	20
3.4	Cenová kalkulace navrhovaných řešení.....	21
3.5	Návrh řízení manipulátoru.....	22
3.5.1	Řízení motoru horizontální osy.....	22
3.5.2	Odměřování polohy horizontální osy.....	24
3.5.3	Řízení motoru vertikální osy.....	24
4	Seznam použitých prvků.....	25
4.1	Motory.....	25
4.2	Frekvenční měnič.....	26
4.3	Odměřování polohy.....	26
4.3.1	Elektromechanické odměřování polohy.....	27
4.3.2	Bezkontaktní odměřování polohy.....	27
4.4	Řídicí systém.....	30
4.4.1	PLC se sběrnici Profibus DP.....	30
4.4.2	Distribuovaná jednotka I/O.....	31
4.4.3	Analogový vstupní modul.....	31
4.4.4	HMI.....	34
4.4.5	Blokové schéma řízení manipulátoru.....	35
5	Realizace.....	37
5.1	Odměřování polohy horizontální osy.....	37
5.1.1	Nastavení snímače.....	37
5.1.2	Konfigurace analogového vstupního modulu.....	38
5.2	Řízení manipulátoru.....	39
6	Závěr.....	47
	Seznam použité literatury.....	49

1 ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá modernizací řízení jednoúčelového dvouosého manipulátoru galvanizační linky.

Galvanizační linka slouží k povrchové úpravě kovových výrobků proti korozi, skládá se ze soustavy těsně za sebou řazených van naplněných chemickými roztoky. Součástí galvanizační linky je i dvouosý manipulátor přepravující výrobky mezi jednotlivými technologickými operacemi.

Reléové řízení linky je nevyhovující, umožňuje provozovat pouze dva technologické programy, jejichž úpravy jsou obtížné a časově velmi náročné. S rozšiřováním výrobního sortimentu o nové výrobky rostou požadavky na navýšení technologických programů galvanizační linky, což není se stávajícím řízením možné.

Galvanizační linka v původní podobě nesplňuje po elektrické stránce požadavky na bezpečnost a spolehlivost provozu. Lince chybí diagnostika poruchových stavů, což prodlužuje opravy a komplikuje opětovné uvádění linky do provozu. Uvedené problémy úzce souvisí se zastaralým řízením linky, odstávky zařízení jsou doprovázeny finančními ztrátami, proto vedení zadavatelské firmy rozhodlo o modernizaci.

Tato práce se zabývá rozбором stávajícího řízení jednoúčelového dvouosého manipulátoru. Po seznámení se s parametry požadovanými technologií a po zjištění aktuálních potřeb na řízení manipulátoru bude navržen vhodný způsob modernizace a pro zvolené řešení vybrán řídicí systém, ovládací prvky, snímače a napsán program pro PLC. Navržené řešení se realizuje v provozu galvanovny.

V rámci modernizace se reléové řízení jednoúčelového dvouosého manipulátoru nahradí digitálním řízením s frekvenčním měničem. Galvanizační linka se kompletně repasuje po mechanické i elektrické stránce, aby splňovala všechny požadavky zákazníka a byla v souladu s platnou bezpečnostní legislativou. Modernizaci zařízení je nutno realizovat s ohledem na omezené finanční prostředky.

Firemní politika zadavatelské firmy nařizuje použít komponenty řídicího systému firmy Siemens, zejména PLC, frekvenční měniče a zobrazovací panel. Nařízení plyne z důvodu snížení finančních a časových nároků na údržbu, minimalizaci doby odstávky výroby při poruše. Pracovníci místní údržby jsou na řídicí systémy Siemens školeni, náhradní díly řídicího systému zadavatelská firma drží skladem.

Z ekonomických důvodů se k řízení jednoúčelového dvouosého manipulátoru použije jeden frekvenční měnič. Reléové řízení linky se nahradí PLC se sběrníci Profibus DP, rozhraní mezi řídicím systémem a obsluhou linky zajistí zobrazovací panel HMI.

Navržené řízení manipulátoru bude možné aplikovat i na jiné výrobní linky, jejichž součástí jsou manipulátory zajišťující transport výrobků.

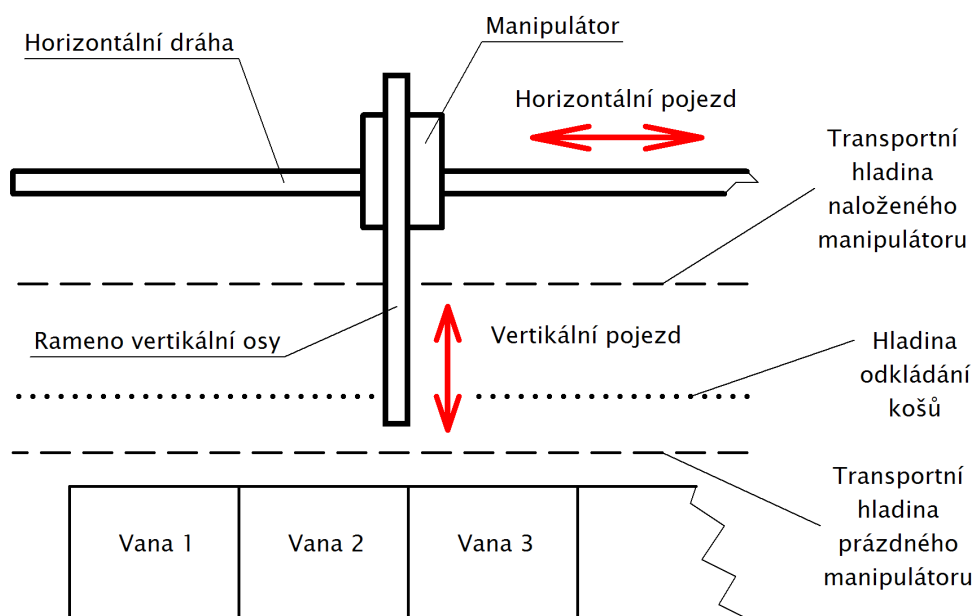
2 STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ

2.1 Popis galvanizační linky

Galvanizační linka slouží k povrchové úpravě výrobků. Skládá se ze soustavy těsně za sebou řazených van, naplněných chemickými roztoky. Výrobky určené k povrchové úpravě jsou uloženy v koších, obsluha linky je v základací stanici ručně vkládá do základací pozice, odkud jsou manipulátorem odváženy podle technologického předpisu do jednotlivých van, tzv. operací. V technologickém postupu je uvedeno pořadí van s délkami časů, v jakém výrobky prochází linkou. Hotové výrobky jsou manipulátorem přemístěny zpět do základací stanice, odkud je obsluha odebírá z linky.

Manipulátor zajišťuje transport zavěšeného břemene ve dvou osách. Svislá osa, tzv. vertikální pojezd, zvedá a spouští koš s výrobky ve směru nahoru a dolů. Vodorovná osa, tzv. horizontální pojezd, zajišťuje přejezd mezi jednotlivými vanami.

Pohyb os je vzájemně blokován, pohyb osou je možný pouze v případě, je-li druhá osa v definované poloze. Vertikální pojezd je podmíněn polohou horizontální osy na středu libovolné vany, horizontální přejezd je možný, nachází-li se svislá osa ve spodní nebo horní transportní poloze.



Obr. 1 Dvouosý manipulátor

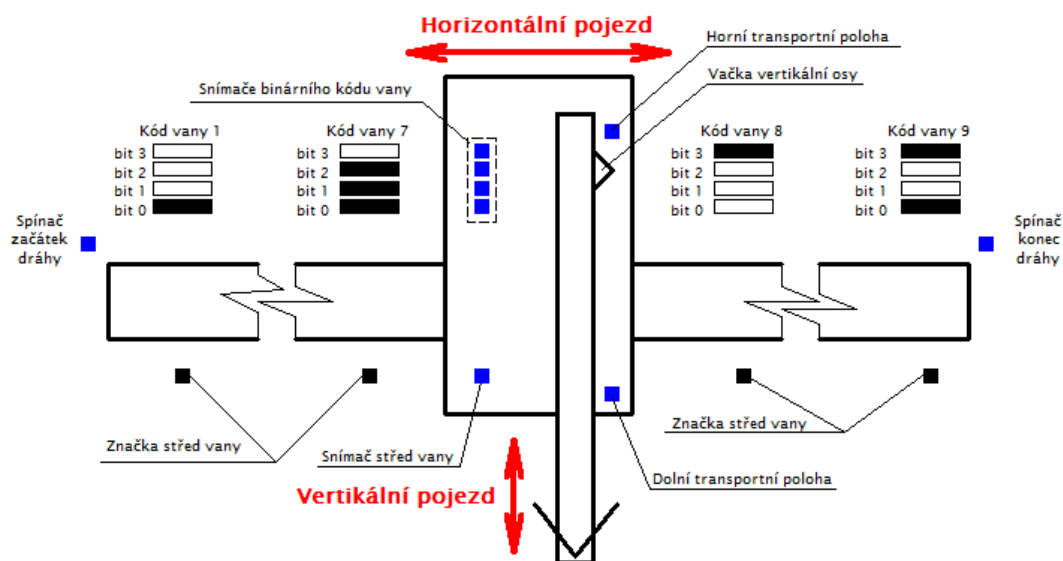
Horizontální osa je poháněna asynchronním motorem s brzdou a převodovkou, jejíž výstupní hřídel je osazen plastovým hnacím kolem odvalujícím se po horizontální dráze.

Vertikální osa je také poháněna asynchronním motorem s brzdou a převodovkou, výstupní hřídel převodovky je připojen k bubnu navijáku s lanem, které přes kladku zvedá nebo spouští vertikální osu.

Stávající řešení manipulátoru znázorňuje Obr. 2. Manipulátor je řízen reléově, nemá žádné odměřování polohy. Horizontální dráha je v obou krajních polohách vybavena koncovými spínači signalizujícími konec dráhy.

Poloha manipulátoru se detekuje pouze v okolí středu jednotlivých van. Nad každou vanou je vytvořen z kovových pásek binární kód čísla vany, vyhodnocovaný indukčními snímači umístěnými na manipulátoru. Pro 9 van je použito čtyřbitové kódování. Dále je nad každou vanou umístěn kovový terčik představující značku středu vany. Indukční snímač umístěný na manipulátoru detekcí tohoto terčiku vyhodnocuje polohu horizontální osy přesně na středu vany.

Na základě signálů z binárního kódování a signálu informujícího o středové poloze je určena poloha manipulátoru. Je-li manipulátor mimo binární kódování van, jeho poloha není známá.



Obr. 2 Schéma stávajícího zařízení

Vertikální dráha je vybavena koncovými spínači informujícími o horní nebo dolní transportní poloze.

Z důvodu vyloučení kolize je horizontální pohyb manipulátoru podmíněn horní nebo dolní transportní polohou vertikální osy. V dolní transportní poloze se pohybuje pouze samotný manipulátor bez břemene, horní transportní poloha je určena pro vodorovný přejezd manipulátoru se zavěšeným košem s výrobky. Pohyb vertikální osy je umožněn, je-li horizontální osa umístěna na středu některé z van.

Pracovní cyklus manipulátoru začíná vyjmutím koše z vany. V dolní transportní poloze manipulátor přijede na střed vany, ze které bude vyzvedávat koš. Pohybem vertikální osy směrem nahoru jej podebere a plynule pokračuje až do horní transportní polohy. V horní transportní poloze pohybem horizontální osy přejede na střed cílové vany. Pohybem vertikální osy směrem dolů odloží koš do závěsů cílové vany a bez zastavení pokračuje až do dolní transportní polohy, odkud může pokračovat další transportní cyklus.

2.2 Zhodnocení stavu

S rozšiřováním výrobního sortimentu o nové výrobky rostou požadavky na rozšíření technologických programů galvanizační linky. Řízení manipulátoru linky je řešeno pomocí relátk a časovačů. Linka umožňuje provozovat pouze dva technologické programy, jejichž úpravy jsou obtížné a časově velmi náročné. Navýšení počtu technologických programů není se stávajícím řízením možné.

Vzhledem k věku zařízení galvanizační linka po elektrické stránce nesplňuje požadavky na bezpečnost a spolehlivost, v případě vzniku závady chybí diagnostika poruchových stavů. K zařízení není platná průvodní dokumentace, během provozování linky došlo k četným úpravám v zapojení elektroinstalace, buď z důvodu úpravy funkce linky nebo náhrady nedostupného originálního dílu. Po mechanické stránce bude galvanizační linka s drobnými opravami schopna provozu pravděpodobně ještě mnoho let.

Každou osu manipulátoru pohání asynchronní motor s kotvou nakrátko vybavený brzdou a převodovkou. Motory i brzdy jsou ovládány stykači. Jde o nejjednodušší způsob spouštění asynchronních motorů. Stykač přímo připojí spouštěný motor k síti, při rozběhu motor odebírá 4 až 7 násobek jmenovitého proudu podle zatížení. Použitý způsob spouštění motorů je vhodný v aplikacích, kde se nekladou požadavky na jemnost rozběhu. Při rozjezdu horizontální osy dochází k proklouznutí plastového hnacího kola manipulátoru na kovové dráze pojezdu. Uvedený způsob spínání motorů neumožňuje řídit otáčky, motory se po rozběhu otáčejí pouze konstantní rychlostí. Rozjezd i zastavení horizontální osy manipulátoru jsou doprovázeny trhnutím, s ohledem na transportované břemeno je to nežádoucí, zkracuje se i životnost mechanických dílů linky.

Použitý způsob kódování pozice manipulátoru je nespolehlivý, občas se nezdaří přechíst všechny signály binárního kódu v jednom okamžiku, výpadek tohoto signálu působí problémy. Obdobné komplikace nastávají při výpadku signálu středu vany.

Plně zatížený manipulátor přejíždí polohu středu cílové vany. Problém je způsoben vlivem větší setrvačnosti zavěšeného břemene. Při přejezdu se manipulátor pohybuje konstantní rychlostí, povel k zastavení je vyhodnocen na základě signálu z indukčního snímače detekujícího značku středu vany. Rozepnutím stykačů se odpojí napájení motoru pohánějícího osu manipulátoru, ve stejném okamžiku spíná brzda motoru. Při maximálním zatížení se horizontální ose manipulátoru nepodaří zastavit na žádané pozici a dojde k přejetí cílové polohy. Prokluzování hnacího kola manipulátoru na dráze pojezdu při brzdění může být částečně způsobeno vlhkostí kovové dráhy. Není-li manipulátor plně zatížen, popisovaná situace nenastává.

Další problém je s referováním. Nestojí-li manipulátor při zapnutí linky přesně nad středem libovolné vany, systém nemá informaci o poloze manipulátoru, proto není možné uvést linku do automatického provozu. Uvedený stav může nastat při aktivaci nouzového zastavení linky nebo výpadku napájení během přejezdu. V tomto případě je nutné nejprve v ručním režimu přestavit manipulátor do definované polohy, potom je možné spustit automatický chod.

Technologický cyklus začíná i končí v zakládací stanici. Do zakládací stanice obsluha linky zakládá výrobky určené k povrchové úpravě. Hotové výrobky jsou také převáženy do zakládací stanice k odebrání obsluhou linky. Zakládací stanice není vybavena kontrolou, zda-li byly hotové výrobky skutečně odebrány z linky, vyskytuje se zde riziko opakovaně odeslat výrobky k povrchové úpravě.

3 MODERNIZACE ZAŘÍZENÍ

3.1 Požadavky na modernizované zařízení

Cílem práce je modernizovat řízení dvouosého manipulátoru. Hlavním požadavkem objednatele je spolehlivě vyřešit zastavování manipulátoru nad středy jednotlivých van s odstraněním trhnutí manipulátoru při rozjezdu a zastavení. Dalším požadavkem je možnost korekce přejezdových rychlostí manipulátoru z operátorského panelu.

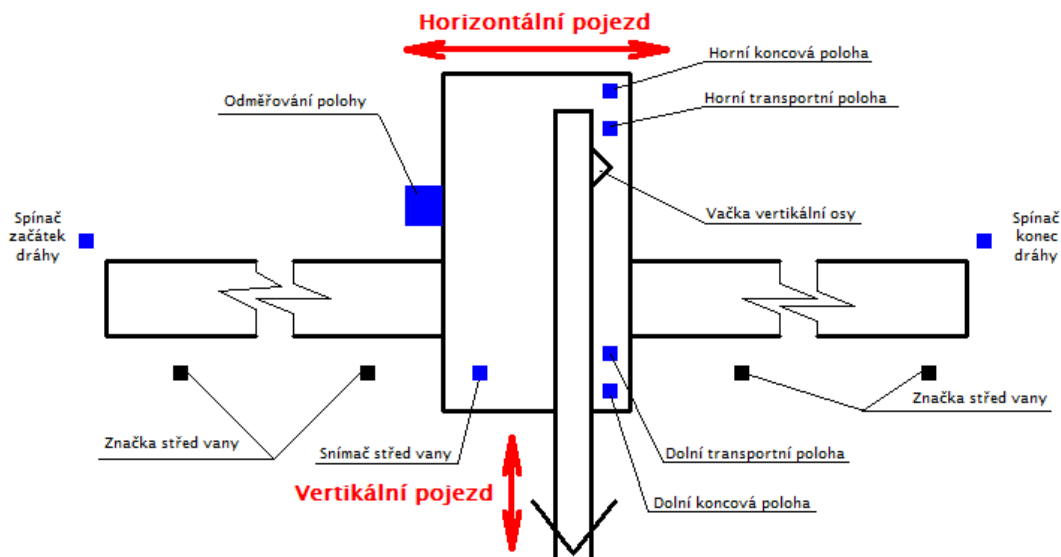
3.2 Návrh modernizace

Zásadním krokem vedoucím ke splnění vytyčeného cíle je možnost řídit rychlost os manipulátoru, které jsou poháněny asynchronními motory. Řízením otáček těchto motorů se dosáhne plynulého rozjezdu a zastavení manipulátoru přesně v žádané poloze, v případě potřeby lze jednoduše upravit i přejezdovou rychlost.

K řízení asynchronních motorů s kotvou nakrátko se použijí frekvenční měniče. Při řízení motorů frekvenčními měniči lze dosáhnout i vyšší transportní rychlosti než u stávajícího stykačového spínání. Pozvolné změny rychlosti manipulátoru prodlouží životnost mechaniky.

K řízení rychlosti horizontální osy manipulátoru v závislosti na poloze je třeba znát její aktuální polohu. Stávající řízení používá k určování polohy osy manipulátoru binární kódování pozic, poloha osy je známá pouze v okolí středů van. Pro náš účel je stávající řešení vyhodnocování polohy horizontální osy nevyhovující, je potřeba znát polohu manipulátoru na celé dráze pojezdu. Horizontální osa se doplní odměřováním polohy.

Původní reléové řízení se nahradí PLC, které na základě informací získaných z odměřování polohy bude řídit frekvenční měniče. Odměřováním polohy horizontální osy se vyřeší nespolehlivé binární kódování pozic. Středy jednotlivých van se budou zadávat do PLC formou souřadnic z HMI.



Obr. 3 Návrh modernizovaného zařízení

Z důvodu bezpečnosti zůstanou na obou koncích horizontálního pojezdu koncové spínače bránící kolizi manipulátoru na koncích dráhy. V běžném provozu se na tyto spínače nebude najíždět.

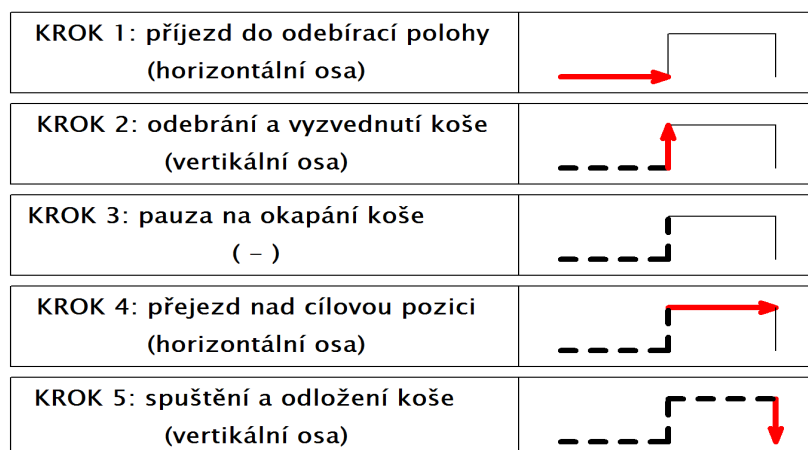
Vertikální osa manipulátoru přejíždí pouze mezi horní a dolní transportní polohou, obě polohy mají velkou toleranci pro zastavení. V krajních polohách vačka vertikální osy aktivuje horní nebo dolní koncový spínač transportní polohy, stávající způsob vyhodnocování je vyhovující, ponechá se původní řešení. Pro případ selhání některého z těchto dvou provozních spínačů se z bezpečnostních důvodů vertikální osa vybaví na obou koncích ještě dalšími spínači signalizujícími havarijní polohu osy.

3.3 Popis pracovního cyklu manipulátoru

Před zahájením transportního cyklu manipulátoru je třeba určit odebírací a odkládací pozici koše s výrobky. V PLC poběží program sledující časy zbývající do konce jednotlivých technologických operací. Podle zadaných kritérií se vyhodnotí koš s nejvyšší transportní prioritou a ten bude převezen. Cílová pozice transportovaného koše je určena recepturou.

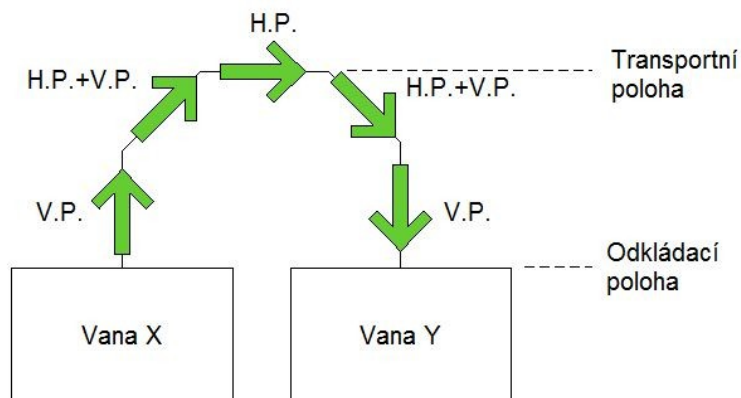
Všechny transportní cykly manipulátoru budou vykonávány podle jednotného algoritmu, skládajícího se z pěti kroků. Každý krok je vázán k pohybu konkrétní osy. Jednotlivé kroky transportního cyklu manipulátoru jsou zřejmé z Obr. 4.

Podmínkou pro zahájení převozního cyklu manipulátoru je dolní transportní poloha vertikální osy. Převozní cyklus manipulátoru začíná najetím horizontální osy na střed vany, ze které se bude vyjímat koš s výrobky. Pohybem vertikální osy směrem vzhůru se vyzvedne koš do transportní výšky. Je-li v receptu výrobku nastavena technologická pauza na okapávání koše, po jejím uplynutí horizontální osa převezve koš nad střed cílové vany. Odložení koše se provede pohybem vertikální osy směrem dolů a transportní cyklus je ukončen. Manipulátor je připraven k novému transportnímu cyklu.



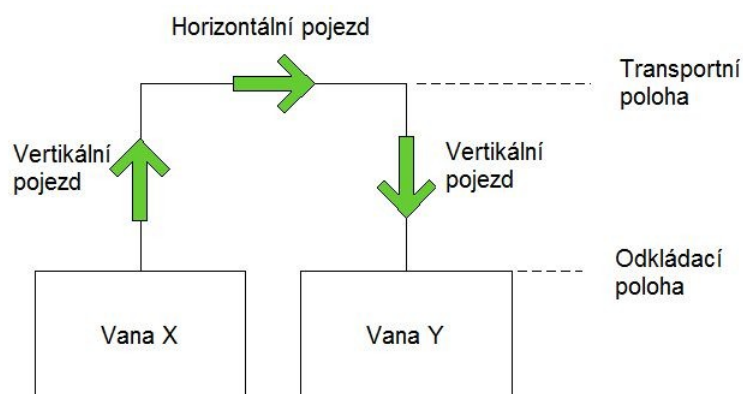
Obr. 4 Kroky transportního cyklu manipulátoru

Původní řízení manipulátoru umožňuje pohyb vždy jen jedné ose. Pro zkrácení času transportního cyklu manipulátoru by bylo zapotřebí současného pohybu oběma osami. Vertikální osa manipulátoru by se musela doplnit o vyhodnocování polohy zaručující, že při vodorovném pohybu manipulátoru nedojde ke kolizi zavěšeného břemene s okrajem vany. Při vyjímání koše z vany by se po dosažení této polohy k vertikálnímu pohybu manipulátoru přidal i pohyb horizontální. Transportní poloha by byla dosažena až během převozu, viz. Obr. 5. Odkládání koše do vany by bylo řešeno v opačném pořadí.



Obr. 5 Trajektorie dvouosého manipulátoru řízeného současně dvěma frekvenčními měniči
V.P. – vertikální pohyb, H.P. – horizontální pohyb

Po zjištění nároků na přejezdové časy manipulátoru je zřejmé, že není nutné pohybovat oběma osami současně a proto obě osy manipulátoru mohou být řízeny pouze jediným frekvenčním měničem. Tímto ztrácíme možnost současného pohybu oběma osami, avšak vzniklé omezení je vyváжено ušetřenými finančními náklady za druhý frekvenční měnič. Řízením dvou motorů jediným frekvenčním měničem získáme pouze pravoúhlou trajektorii manipulátoru, viz Obr. 6.



Obr. 6 Trajektorie dvouosého manipulátoru řízeného jedním frekvenčním měničem

3.4 Cenová kalkulace navrhovaných řešení

V tabulce je cenová kalkulace obou navrhovaných variant řízení motorů manipulátoru. *Varianta 1* je pro řízení manipulátoru dvěma frekvenčními měniči. *Varianta 2* je pro řízení motorů jedním frekvenčním měničem, zapojení se musí doplnit o dva stykače a dvě relé připojující k frekvenčnímu měniči motory a jejich brzdy.

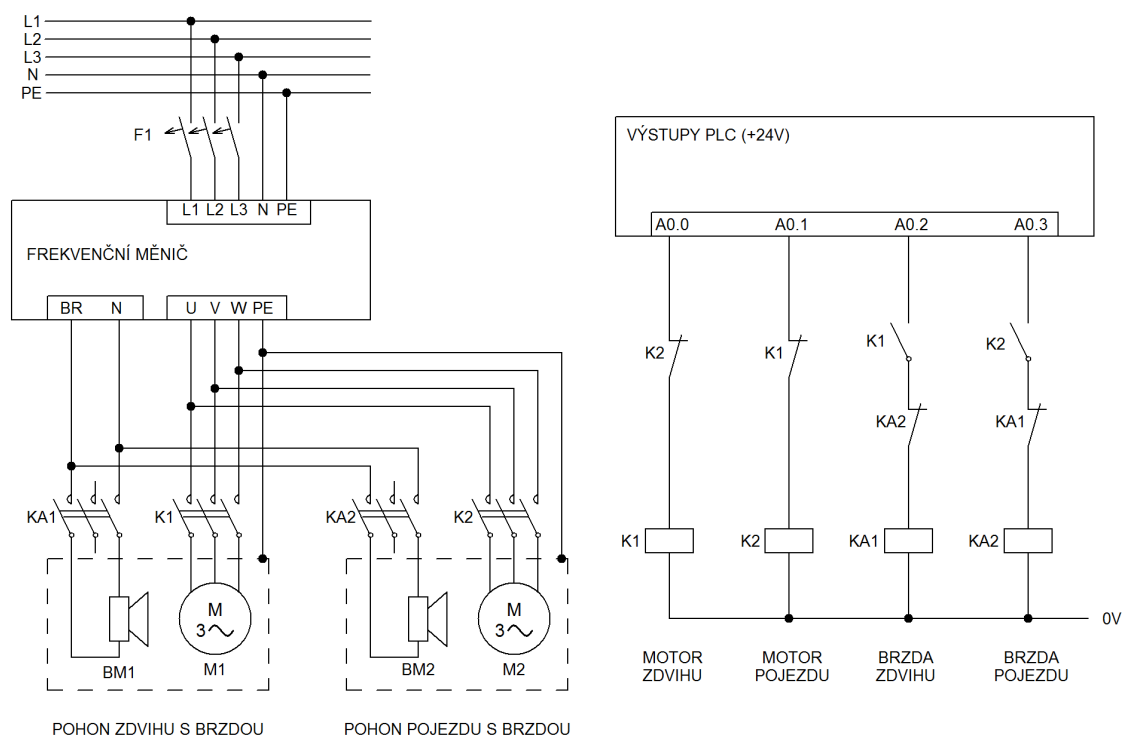
	Frekvenční měnič 34 269 Kč/ks		Stykač 496 Kč/ks		Relé 263 Kč/ks		Celková cena
	[ks]	[Kč]	[ks]	[Kč]	[ks]	[Kč]	
Varianta 1:	2	68 538	-	-	-	-	68 538
Varianta 2:	1	34 269	2	992	2	526	35 787

Cenový rozdíl mezi oběma způsoby řízení je 32 751Kč. Po projednání obou navrhovaných variant řízení motorů se zadavatelem byla dohodnuta levnější varianta řízení dvousóseho manipulátoru jedním frekvenčním měničem.

3.5 Návrh řízení manipulátoru

K řízení galvanizační linky se použije PLC řady S7-300, motory pohánějící osy manipulátoru budou řízeny jedním frekvenčním měničem. Komunikace mezi PLC a frekvenčním měničem zajistí průmyslová sběrnice Profibus DP. Požadavkem na oba uvedené komponenty je přítomnost uvedeného rozhraní.

K frekvenčnímu měniči lze v jednom okamžiku připojit pouze jeden asynchronní motor. Přepínání motorů a jejich brzd se vyřeší pomocí stykačů. Cívky stykačů budou spínány z výstupů PLC podle momentálních požadavků na pohyb konkrétní osy, viz. Obr. 7. Z bezpečnostních důvodů elektrické zapojení nesmí umožnit PLC sepnout obě cívky stykačů současně a tím v jednom okamžiku připojit k frekvenčnímu měniči oba motory.



Obr. 7 Zjednodušené schéma přepínání motorů manipulátoru

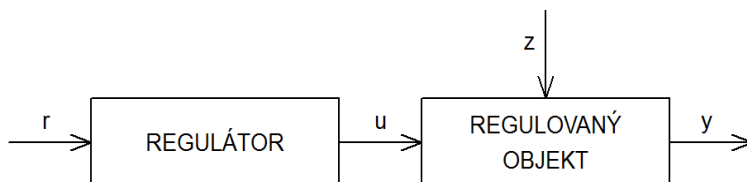
3.5.1 Řízení motoru horizontální osy

Požadavkem na řízení vodorovného pojezdu manipulátoru je přijet a zastavit na zadané souřadnici. Řízením rychlosti motoru se dosáhne požadovaného plynulého rozjezdu i zastavení osy. Našemu účelu vyhoví bezsenzorové řízení rychlosti motoru. Uvedené řízení se též nazývá řízením motoru v otevřené smyčce, tzn. k řízení rychlosti motoru není použit snímač rychlosti. Bezsenzorové řízení motoru lze použít, nemáme-li příliš vysoké požadavky na přesnost rychlosti. Změnou frekvence se mění rychlost motoru ve velkém rozsahu.

Bezsensorové řízení motoru

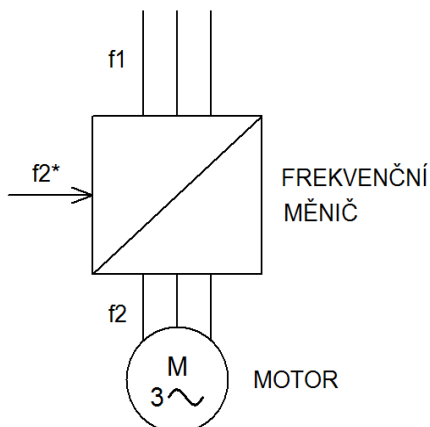
Princip řízení motoru v otevřené smyčce je zřejmý z Obr. 8. Není-li použit snímač rychlosti, snižují se náklady za elektrický pohon.

„Regulovaná soustava sestává z regulovaného objektu a regulátoru. Význam jednotlivých symbolů: r je referenční vstup (tj. žádaná hodnota výstupní veličiny), u je řídicí veličina (tj. akční veličina), y je řízená (výstupní) veličina, z je porucha. Regulátor nastavuje akční veličinu u , bez informace o skutečné hodnotě řízené veličiny y . Řízenou veličinu ovlivňuje i poruchová veličina z , vstupující do regulovaného objektu přímo. Poruchovou veličinou bývá změna zatížení motoru, změna síťového napětí, změna teploty apod.“ [2]



Obr. 8 Řízení motoru v otevřené smyčce [2]

Na Obr. 9 je příklad řízení asynchronního motoru v otevřené smyčce. Frekvenční měnič napájí motor proměnným kmitočtem f_2 , na kterém závisí otáčky motoru. Požadované otáčky motoru se nastavují pouze hodnotou kmitočtu f_2^* . Vlivem změny zatížení motoru se mění otáčky podle momentové charakteristiky. [2]

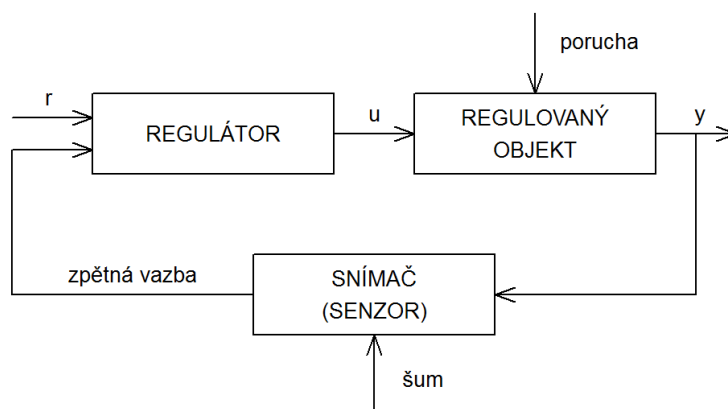


Obr. 9 Řízení motoru v otevřené smyčce [2]

V našem případě k řízení horizontální osy postačí bezsensorové řízení motoru. Kdybychom požadovali zaručenou dynamickou odezvu a přesnou regulaci rychlosti, je řízení v otevřené smyčce nedostačující. Museli bychom řídit asynchronní motor v uzavřené regulační smyčce, tzv. použít zpětnovazební řízení motoru.

Zpětnovazební řízení motoru

Zpětnovazební řízení kompenzuje neurčitost parametrů soustavy, dále vliv poruchových veličin, např. změny zatěžovacího momentu, kolísání síťového napětí. Princip zpětnovazebního řízení je zřejmý z Obr. 10. Regulátor nastavuje řídicí veličinu u na základě informací o žádané hodnotě r a skutečné hodnotě regulované veličiny y , získané měřením pomocí snímače a přivedené na druhý vstup regulátoru jako tzv. zpětná vazba. [2]



Obr. 10 Princip zpětnovazebního řízení [2]

3.5.2 Odměřování polohy horizontální osy

Mechanická konstrukce uchopovací části manipulátoru zajišťuje správný úchop koše s výrobky při najetí manipulátoru nad osu koše zadanou souřadnicí v toleranci $\pm 20\text{mm}$. Z tohoto důvodu je zřejmé, že k odměřování polohy horizontální osy je zbytečné pořizovat drahý snímač s vysokým rozlišením. Důležitým parametrem pro výběr vhodného snímače je cena. Vzhledem k povaze provozu je při výběru snímače nutno přihlídnout na snadnou montáž, demontáž a nastavování v případě závady snímače.

Mechanika linky je vyrobena z materiálů odolných korozi, hnací kolo horizontální osy je vyrobeno z plastu. Při návrhu vhodného odměřování polohy a řízení motoru vodorovného pojezdu je třeba brát v úvahu možnost prokluzu hnacího kola manipulátoru na navlhle dráze pojezdu.

Při výběru odměřování polohy je nutno vyloučit rotační snímače, pracující na principu měření úhlu natočení hřídele. Uvedené snímače vyžadují spojení hřídele motoru nebo převodovky s hřídelkou snímače, při prokluzu hnacího kola by vznikala chyba. Uvedený způsob odměřování by se dal využít na dráhách pojezdů vybavených hřebenovým vedením s poháněnými ozubenými koly, kde je vyloučeno vzájemné proklouznutí.

3.5.3 Řízení motoru vertikální osy

Úkolem vertikální osy manipulátoru je vyzvedávat a spouštět koše s výrobky, tzn. svislá osa přejíždí ze spodní transportní polohy do horní transportní polohy a opačně, s velkou tolerancí pro zastavení. Vertikální osa je vybavena převodovkou s převodovým poměrem víc do pomala než horizontální osa, proto se svislá osa manipulátoru pohybuje mnohem nižší rychlostí. Z tohoto důvodu se zachová původní řešení vyhodnocování horní a dolní transportní polohy indukčními snímači. Pro případ přejetí zmiňovaných snímačů se doplní koncové polohy vertikální osy ještě koncovými spínači, bránícími kolizi na konci dráhy.

4 SEZNAM POUŽITÝCH PRVKŮ

4.1 Motory

Stávající asynchronní motory s kotvou nakrátko jsou jedny z mála součástí původní elektrovýzbroje linky funkční, využijí se k pohánění manipulátoru i nadále. Motory jsou přírubové, vybavené brzdami a převodovkami.

V motorech jsou integrovány elektromagnetické kotoučové brzdy. Přivedením napětí na elektromagnet brzdy se brzda odbrzdí. Brzdění je řešeno mechanicky silou přítlačných pružin. Při ztrátě nebo výpadku napájení dojde ihned k zabrzdění motoru, tím je splněn základní bezpečnostní požadavek.

Převodovky slouží ke změně otáček motoru, se změnou úhlové rychlosti souvisí změna kroutícího momentu pohonné jednotky. Teoreticky platí, přenesený výkon je stejný, pouze se zvýší síla na hřídeli při poklesu otáček, nebo se síla zmenší při zvýšení otáček. Prakticky je přenos výkonu vždy ztrátový vlivem účinnosti převodu. U zvedacích převodovek není povoleno používat samosvorný účinek šnekových převodovek jako jediný bezpečnostní prvek.

Štítkové údaje motorů:

	Horizontální osa	Vertikální osa
Výrobce:	SEW-EURODRIVE	SEW-EURODRIVE
Typ motoru:	DT71D4/BMG	DT80K4/BMG
Jmenovitý výkon P_N [kW]:	0,37	0,55
Síťová frekvence f [Hz]:	50	50
Napájecí napětí motoru $[V_{AC}]$:	400 / 230	400 / 230
Jmenovitý proud I_N [A]:	1,15 / 2,00	1,75 / 3,05
Jmenovité otáčky n_N [min ⁻¹]:	1380	1360
Jmenovitý kroutící moment M_N [N.m]:	2,6	3,9
Účinník motoru $\cos \varphi$:	0,76	0,72

Štítkové údaje převodovek:

	Horizontální osa	Vertikální osa
Výrobce:	SEW-EURODRIVE	SEW-EURODRIVE
Typ převodovky:	SAF 37	SAF 47
Celkový převodový poměr i :	18,24	32,48
Vypočtený vstupní výkon P [kW]:	0,5	0,89
Max. kroutící moment na výstupu M_{AMAX} [N.m]:	52	155
Účinnost η [%]:	84	79

4.2 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič je zařízení sloužící pro plynulé řízení otáček střídavého 3-fázového motoru. Frekvenční měniče přeměňují 1-fázové nebo 3-fázové napájení s konstantním napětím i frekvencí na 3-fázové napájení, jehož napětí i frekvence jsou proměnné. Otáčky motoru lze plynule měnit od nuly až do jmenovitých otáček. Motor může být zatěžován jmenovitým momentem i při nízkých otáčkách. Motor je možno provozovat i nad jmenovitými otáčkami (provoz s odbuzením), nevýhodou je pokles kroutícího momentu. Frekvenční měnič se pomocí parametrů přizpůsobuje konkrétnímu typu motoru a druhu provozu. Frekvenční měniče se pravděpodobně nejčastěji používají u 3-fázových asynchronních motorů kvůli možnosti řídit rozběh a otáčky. Úpravou náběhové rampy lze docílit rozběh motoru v těžkých podmínkách bez výrazných nadproudových špiček. Úpravou brzdící rampy lze řídit i zastavování motoru. Základní rozdělení řízení motorů frekvenčním měničem je na skalární a vektorové řízení. [11]

Skalární, U/f nebo V/Hz řízení

Skalární řízení umožňuje provoz asynchronního motoru v optimálních podmínkách jen v ustáleném stavu. Neumožňuje řízení okamžité hodnoty momentu, následkem je horší dynamika regulace rychlosti. Měnič řídí napájecí napětí a kmitočet v konstantním poměru, kroutící moment zůstává na většině rozsahu konstantní, podle zatížení se však mění rychlost otáčení motoru. Skalární řízení je pro svou jednoduchost používáno v levnějších pohonech s nízkými nároky na dynamiku. S úspěchem jej lze využívat u pohonů, kde se nevyskytují časté a prudké změny žádané rychlosti nebo zátěže, například motory čerpadel a ventilátorů. [11]

Vektorové řízení

Vektorové řízení umožňuje provoz asynchronního motoru v optimálních podmínkách nejen v ustáleném stavu, ale i během přechodových dějů. Základ vektorového řízení spočívá v rozdělení regulačních obvodů na regulaci momentu a regulaci magnetického toku tak, aby se vzájemně neovlivňovaly. Regulační obvod momentu nastavuje činný výkon (moment motoru), regulační obvod magnetického toku nastavuje jalový výkon (magnetický tok stroje). Na asynchronní motor s vektorovým řízením lze pohlížet jako na stejnosměrný motor s cizím buzením, kde lze řídit nezávisle magnetický tok motorem a jeho moment. [11]

Použitý měnič

K řízení motorů obou os manipulátoru se použije frekvenční měnič řady Sinamics G120 vybavený komunikačním rozhraním Profibus DP. Asynchronní motory pohánějící osy manipulátoru budou řízeny skalárně v otevřené smyčce.

4.3 Odměřování polohy

Na trhu existuje spousta snímačů odměřování polohy, důležitým krokem při výběru vhodného snímače je správná volba funkčního principu s ohledem na měřicí rozsah, rozlišení, rychlost, výstupní signál, citlivost na elektromagnetické rušení, mechanické provedení, významnou roli hraje cena.

Snímače polohy lze podle použitého principu odměřování rozdělit na absolutní a inkrementální. Absolutní snímač udává absolutní hodnotu polohy v celém rozsahu odměřování, každé poloze je jednoznačně přiřazena hodnota signálu snímače. Předností absolutního snímače je okamžitá informace o poloze bez nutnosti znát její předchozí hodnotu, tedy ihned po zapnutí napájení snímače. [1]

Inkrementální snímače mají vysokou přesnost i rozlišitelnost, po zapnutí napájení lze získat absolutní informaci o poloze až po referování, tzn. nutno přejet nulovou značku nebo referenční bod. Absolutní hodnota polohy je dána obsahem čítače odměřovacích pulzů. Při každém vypnutí napájení snímač ztratí informaci o poloze, je ho nutno opět referovat. [1]

Odměrování polohy se dělí na přímé a nepřímé odměrování, rozhoduje o tom umístění snímače polohy. U nepřímého odměrování je rotační snímač polohy umístěn na hřídeli motoru, tzn. neodměřuje se skutečná poloha pohybující se části stroje, ale poloha pohybového mechanismu. Nevýhodou nepřímého odměrování je přesnost dosažené polohy, která je ovlivněna vůlí v mechanických převodech. Přímé odměrování používá u posuvných pohybů lineární snímače polohy nebo u rotačních pohybů rotační snímače. Přímé odměrování polohy je namontováno přímo na pohyblivé části stroje, přesnost řízení je u tohoto odměrování vyšší než v předchozím případě, mohou však vzniknout potíže s nastavováním dynamiky. [1]

Z důvodu minimalizace časových nároků před spuštěním linky se vybaví horizontální dráha absolutním odměrováním polohy. Po zapnutí napájení linky odpadne nutnost referovat horizontální osu, kdy by manipulátor musel sníženou rychlostí hledat referenční bod na poměrně dlouhé dráze pojezdu.

Při výběru vhodného odměrování polohy horizontální osy je nutno vybírat pouze mezi přímými odměrovacími systémy. Nepřímé odměrování polohy vyloučíme z důvodu možnosti prokluzu hnacího kola manipulátoru na dráze pojezdu, viz. Kapitola 3.5.2 Odměrování polohy horizontální osy.

4.3.1 Elektromechanické odměrování polohy

Elektromechanické odměrování polohy využívá lankového snímače, tzv. elektronického pásma. Jde o metodu používající se k prostému měření vzdálenosti. Snímač je vybaven samonavíjecí cívkou s lankem, délka odvinutého lanka se převádí na elektrický signál.

Lankové snímače se často používají k odměrování polohy složitých kinematických mechanismů, např. nůžkovité systémy. Na trhu jsou snímače s měřicím rozsahem do 50m.

4.3.2 Bezkontaktní odměrování polohy

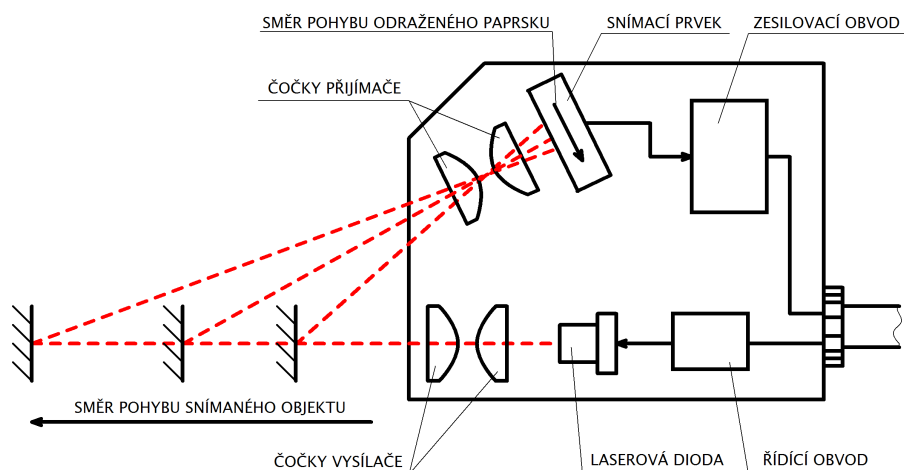
Hlavními znaky těchto snímačů je absence fyzického kontaktu s měřeným objektem. Kritickým faktorem bezkontaktních snímačů je vzdálenost a materiál snímaného objektu. Indukční snímač detekuje kovy, kapacitní snímač plasty, papír, magnetický snímač detekuje permanentní magnet upevněný na snímaném předmětu. Uvedené snímače jsou omezeny snímací vzdáleností, maximální dosah je do 100mm. Pro větší vzdálenosti je nutno vybírat mezi ultrazvukovými, optoelektrickými, mikrovlnnými a jinými snímači.

Výhodou optoelektronických odměrovacích systémů jsou menší opotřebování snímače, měření při vysokých teplotách, měření při elektromagnetickém záření, výsledek měření není ovlivněn hmotností snímače, např. vibracemi.

Triangulační snímač

Nejznámější a historicky nejstarší metodou, která se u snímačů polohy využívá je triangulační metoda. Triangulační metoda je známá například z geodézie, používá se k optickému měření vzdálenosti dvou bodů. [9]

Hlavní části triangulačního snímače jsou vysílač, přijímač, procesor, viz. Obr. 11. Vysílač tvoří laserová dioda vyzařující úzký světelný paprsek dopadající na snímaný objekt. Vyslaný paprsek se buď od měřeného objektu odrazí a vrátí se zpět na snímací část senzoru nebo se odrazem silně rozptýlí do všech směrů, pak mluvíme o difúzní reflexi světelného paprsku. Pro úspěšné měření stačí získat jeden z difúzně odražených paprsků. Odražené paprsky prochází čočkou přijímače a dopadají na polohově citlivý senzor. Se změnou vzdálenosti měřeného objektu se po senzoru posouvá optická stopa dopadajícího paprsku. Na základě údajů ze snímacího prvku procesor počítá vzdálenost snímaného objektu. [3]



Obr. 11 Princip triangulačního snímače [3]

Požadavkem na snímací prvek je schopnost vyjádřit proměnlivou polohu stopy dopadajícího paprsku. Pro snímací prvky se používají dva optoelektronické komponenty. Prvním je řádkový CCD snímač použitý jako čidlo polohy. Vyžaduje značné náklady pro další zpracování informace, proto se používá jen pro velmi přesná měření velkých vzdáleností, kde se s vysokou cenou měřicího zařízení počítá. Druhým komponentem, který mnohem jednodušeji zpracovává odražený paprsek je polohově citlivý polovodičový prvek označovaný zkratkou PSD. Světelný paprsek dopadající na PSD vyvolává proud fotonů, který se větví k oběma koncům polovodičové destičky. Při stejných zátěžích na obou koncích se z poměru obou proudů nechá určit poloha světelné stopy. [9]

Nevýhodou měření difúzně odraženého paprsku je se čtvercem vzdálenosti klesající intenzita přijatého světla. Rozlišovací schopnost snímače až 4 krát klesá při zelené, modré nebo černé barvě snímaného objektu. Problematické je snímání zrcadlicích, průhledných nebo poréznych předmětů. V těchto případech se používají triangulační snímače s obyčejnou LED místo diody laserového typu. [9]

TOF snímač

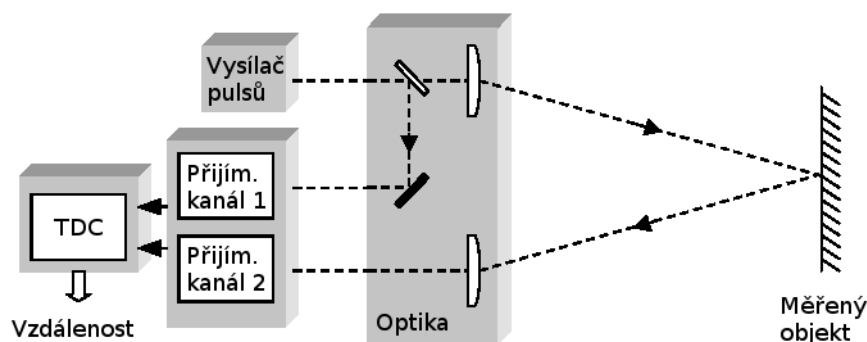
Metoda TOF (Time-of-flight), tzv. měření doby letu světla, spočívá v měření času uběhlého od vyslání světelného paprsku na měřený objekt, do jeho návratu po odrazu. Princip této metody vychází z konstantní rychlosti světla. Podle vztahu (1) se vypočte vzdálenost snímaného objektu. Kde $R[m]$ je vzdálenost měřeného objektu, rychlost světla $c = 3 \cdot 10^8 [m \cdot s^{-1}]$, čas mezi vysláním a přijetím paprsku $t_d[s]$. [4]

$$R = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t_d \quad (1)$$

Snímače vzdálenosti pracující na principu Time-of-flight se používají v širokém spektru aplikací. Využívají se pro měření velkých vzdáleností od jednotek metrů do několika kilometrů s přesností na centimetry. Při měření kratších vzdáleností se dosahuje přesnosti v milimetrech. Vyznačují se krátkou dobou měření, podmínkou je optická viditelnost cílového objektu. [4]

Zařízení se skládá z vysílače laserových pulsů, optických součástí, dvoukanalového přijímače a převodníku TDC (Time to digital converter), viz. Obr. 12. Snímač pracuje na principu vysílání optického pulzu, trvajícího 2 až 20 ns, na měřený objekt. Vyslaný puls je detekován prvním přijímacím kanálem, buď opticky nebo elektronicky z řídicího pulzu laserové diody. První přijímací kanál aktivuje TDC. Optický puls odražený od snímaného objektu se vrací zpět do snímače, kde je detekován a stejným způsobem zpracován druhým přijímacím kanálem. Druhý přijímací kanál také posílá impuls do TDC. S využitím časové základny TDC převádí časový interval na digitální číslo představující vzdálenost snímače od cíle. [4]

Uvedený princip založený na měření času mezi vysláním a přijetím paprsku se zdá velice jednoduchý, avšak v praxi těžko realizovatelný z důvodu generování a následného čítání pulzů v řádech pikosekund, např. průlet paprsku dráhou 1mm trvá přibližně 6ps, proto se v průmyslových aplikacích tento snímač nepoužívá. [4]



Obr. 12 Princip TOF [4]

U snímačů pracujících na principu měření doby letu světla se ve skutečnosti používá jiná veličina spojená s časem, která je přesně měřitelná. Měřenou veličinou je změna fáze. Ze zdroje záření (LED dioda, laser) se vyšle signál modulovaný oscilátorem, na přijatém odraženém signálu se objeví posuv fáze úměrný době t_d . K vyhodnocení vzdálenosti stačí určit čas vzniklý rozdílem posuvu fází referenčního a přijatého signálu. [9]

Použitý snímač polohy horizontální osy

Pro odměřování polohy horizontální osy manipulátoru bude zvolen optoelektronický snímač FR 92 ILA-PSL5, pracující na principu TOF. Snímač bude umístěn na manipulátoru. Počátek horizontální dráhy bude osazen odrazkou paprsku RL250 rozměru 248x248mm. Snímač i odrazka jsou od firmy Sensopart, cena snímače je 12 150Kč, cena odrazky 1 850Kč.



Obr. 13 Optoelektronický snímač FR 92 ILA-PSL5 [10]

Přehled nejdůležitějších parametrů snímače:

Elektrické parametry:

Napájení:	18 – 30V DC
Výstup:	4 - 20mA
Rozlišení:	5mm
Opakovatelnost:	10 / 5mm
Linearita:	±60mm
Doba odezvy:	30 / 65ms

Optické parametry:

Měřicí rozsah:	200 – 30 000mm
Pracovní režim:	Laser Class 1
Nastavovací režim:	Laser Class 2

Požadavek na přesnost zastavení horizontální osy nad středem cílové vany je $\pm 20\text{mm}$, rozlišení odměřování horizontální osy je 5mm. Pro kontrolu polohy horizontální osy nad středy jednotlivých van se použije stávající systém detekce středů van pracující na principu indukčního snímače a kovových terčů.

Použitý snímač využívá ke své činnosti laserové záření. Laserové záření představuje největší nebezpečí pro oči a pro kůži. Lasery se dle míry nebezpečnosti dělí do 7 kategorií. Při běžném provozu snímač vysílá okem neviditelný laserový paprsek patřící do Třídy 1. V nastavovacím módu snímač vyzařuje naváděcí paprsek spadající do Třídy 2, pomocí něhož se zaměřuje snímáný objekt, v našem případě odrazka. V místě dopadu se naváděcí paprsek jeví jako červený bod.

Třída 1 (Class 1) Do této skupiny spadají zařízení, u nichž je zaručeno, že jsou s dostatečně velkou pravděpodobností bezpečné pro oči a kůži osob, dostávajících se do kontaktu s laserovým zářením, za běžných provozních podmínek, včetně podmínek sledování laserového svazku pomocí optických přístrojů. [5]

Třída 2 (Class 2) Do této skupiny řadíme lasery o nízkém výkonu vyzařující viditelné záření v rozsahu vlnových délek od 400nm do 700nm, bezpečnost je zajištěna fyziologickými reakcemi oka včetně mrkacího reflexu. Nebezpečné mohou být při přímém pohledu do svazku paprsků po dobu delší než 0,25s. [5]

4.4 Řídicí systém

Stávající reléové řízení manipulátoru se nahradí programovatelným logickým automatem, tzv. PLC. PLC je průmyslový počítač používající se v automatizaci k řízení technologických procesů v reálném čase. Firemní politika zadavatelské firmy nařizuje použít komponenty řídicího systému firmy Siemens, jenž jsou v praxi velmi rozšířené. Nařízení plyne z důvodu minimalizace doby odstávky výroby při poruše některé z komponent řídicího systému. Náhradní díly řídicího systému uvedeného výrobce zadavatelská firma drží skladem. Dalším důvodem je znalost řídicího systému Siemens místní údržbou.

4.4.1 PLC se sběrnici Profibus DP

Vzhledem k rozsahu modernizovaného zařízení se použije modulární systém S7-300 určený pro středně náročné aplikace. Důležitým parametrem pro výběr řídicí jednotky CPU je přítomnost sběrnice Profibus DP, použije se ke komunikaci s frekvenčním měničem a decentrální periferií umístěnou na manipulátoru. Zobrazovací panel bude komunikovat s řídicím systémem po servisní sběrnici MPI, kterou je standardně vybaveno každé CPU uvedeného výrobce.

Základní sestava navrženého řídicího systému SIMATIC S7-300 se skládá z centrální procesorové jednotky CPU 315-2 DP, objednáč číslo 6ES7 315-2AH14-0AB0, firmware verze V3.0 a dalších vstupních a výstupních jednotek sloužících k získávání informací ze snímačů a k řízení akčních členů.

4.4.2 Distribuovaná jednotka I/O

Distribuovaná neboli decentralizovaná řešení jsou neodmyslitelnou součástí moderní automatizace. Výhodou distribuovaného řešení je přehledná konstrukce technologického zařízení, především flexibilní, prostorově úsporná instalace v těsné blízkosti připojených senzorů a akčních prvků. Minimalizuje se délka kabelových rozvodů, rychleji lze identifikovat závady.

V aplikaci se použije multifunkční, bitově orientovaný modulární systém periferií SIMATIC ET 200S, konfigurovatelný z jednotek vstupů a výstupů, přizpůsobitelný konkrétním potřebám automatizační úlohy. Periferie je určena pro montáž do rozvaděče v provedení s krytím IP20.



Obr. 14 IM151-1 firmy Siemens [6]

Pomocí interface modulu IM151-1, viz. Obr. 14, se systém ET 200S podle provedení připojuje ke komunikační sběrnici Profibus DP nebo Profinet. V našem případě se použije IM151-1 Basic vybavený sběrnici Profibus DP.

4.4.3 Analogový vstupní modul

Součástí distribuované jednotky bude analogový vstupní modul sloužící k získávání informací o poloze horizontální osy manipulátoru ze snímače polohy. Řídící systém nepracuje přímo s analogovým signálem, před vlastním zpracováním signálu programem PLC se elektrický signál musí převést do digitální podoby. Převod analogového signálu na digitální se nazývá AD konverze, vyjadřuje analogovou hodnotu signálu převedenou na odpovídající binární hodnotu.

Analogovou veličinu není možno převádět přímo na binární číslo, průběh spojitě veličiny se musí vzorkovat. Vzorkování probíhá sekvenčně, tzv. v cyklech. Čas cyklu převodu patří k základním parametrům převodníku, označuje se jako rychlost vzorkování. Vzorky jsou převáděny na kombinaci bitů, které lze řídicím systémem zpracovávat.

„Vzorkování (sampling) je proces, v němž je signál souvislého času nahrazován jeho částmi – vzorky. Vzorky jsou od sebe zpravidla rovnoměrně vzdáleny (rovnoměrné vzorkování) o periodu T_s .“ [7]

Firma Siemens nabízí do svých řídicích systémů celou řadu analogových modulů. Liší se počtem kanálů, typem měřené veličiny, způsobem připojení snímače, rozlišením, rychlostí a pořizovací cenou. Pro každou aplikaci je důležité vybrat nejvhodnější modul, s ohledem na užitnou hodnotu a pořizovací cenu.

Výběr optimálního analogového převodníku ke snímači odměřování polohy

Výstupní signál ze snímače polohy horizontální osy má standardizovanou hodnotu výstupního proudu 4 - 20mA. Měření proudového signálu oproti napětovému má výhodu, signál není ovlivněn délkou kabelů mezi snímačem a analogovým vstupním modulem. Vnitřním odporem snímač reguluje proud mezi 4 až 20mA, což odpovídá 0 - 100% rozsahu snímače. Další výhodou proudového signálu 4 - 20mA je možnost rozeznat zkrat nebo přerušení vodičů na vstupu do systému.

Analogové snímače s proudovým výstupem 4 - 20mA se k analogovému proudovému vstupu připojují buď dvouvodičově nebo čtyřvodičově, podle konstrukce snímače. Analogové vstupní moduly mohou mít z výroby pevně dané připojení snímače nebo mohou být konfigurovatelné. V HW konfiguraci vývojového prostředí STEP 7 se pro nastavení připojení dvouvodičového nebo čtyřvodičového proudového snímače k analogovému vstupnímu modulu přepíná parametr *2DMU* nebo *4DMU*. Nevhodný způsob připojení snímače vede k nefunkčnosti kanálu.

Hlavní rozdíl mezi dvouvodičovým a čtyřvodičovým zapojením snímače je v napájení. U dvouvodičového zapojení *2DMU* funguje snímač jen jako proměnný odpor, který řídí výstupní proud v rozsahu 4 - 20mA. Na jednu svorku snímače je přivedeno napájení 24V DC, druhá svorka je výstupem do vstupního analogového modulu.

Čtyřvodičové zapojení *4DMU* vyžaduje externí napájení snímače 24V DC. Výstupní proud ze snímače teče do jedné svorky analogového vstupu, druhá svorka může být spojena s nulovou svorkou napájení. Zapojení závisí na konkrétním snímači i vstupním modulu.

Pro naši aplikaci hledáme vhodný analogový vstupní modul připojitelný k decentralizované periférii ET 200S. Měřenou veličinou musí být proud v rozsahu 4 – 20mA, snímač polohy vyžaduje čtyřvodičové připojení ke vstupnímu analogovému modulu. Pro jeden snímač je třeba vstupní modul s jedním měřicím kanálem. V nabídce jsou jen dvou kanálové nebo čtyř kanálové vstupní moduly, vhodný modul se bude vybírat mezi dvoukanálovými. Nepoužitý kanál se z důvodu rychlosti převodu deaktivuje.

Vhodný AD převodník se vybere z následující nabídky:

6ES7 134-4GB11-0AB0 cena: 112EUR	Integrační 4 – 20mA, rozlišení 13 bitů převodní čas: 65ms
6ES7 134-4GB62-0AB0 cena: 248EUR	SAR (Successive Approximation Register) 4 - 20mA, rozlišení 15 bitů převodní čas: 15μs
6ES7 134-4MB02-0AB0 cena: 150EUR	Sigma Delta 4 - 20mA, rozlišení 15 bitů převodní čas: 20ms

Využitelná dráha horizontální osy manipulátoru měří 5 830mm, na tuto vzdálenost se nastaví měřicí rozsah snímače polohy. Rozlišení snímače je 5mm, snímač rozdělí dráhu na 1 166 úseků.

Podle výrobce snímače lze k odměřování polohy horizontální osy použít nejlevnější převodník z uvedené trojice s označením 6ES7 134-4GB11-0AB0, určený pro měření proudových signálů v rozsazích $\pm 20\text{mA}$ nebo 4 - 20mA, viz. Obr. 15 . Rozlišení převodníku 13 bitů odpovídá 2^{13} stavům, to je 8 192 kroků, pro použitý snímač je to více než dostačující.



Obr. 15 Dvoukanálová analogová vstupní jednotka 6ES7 134-4GB11-0AB0 [8]

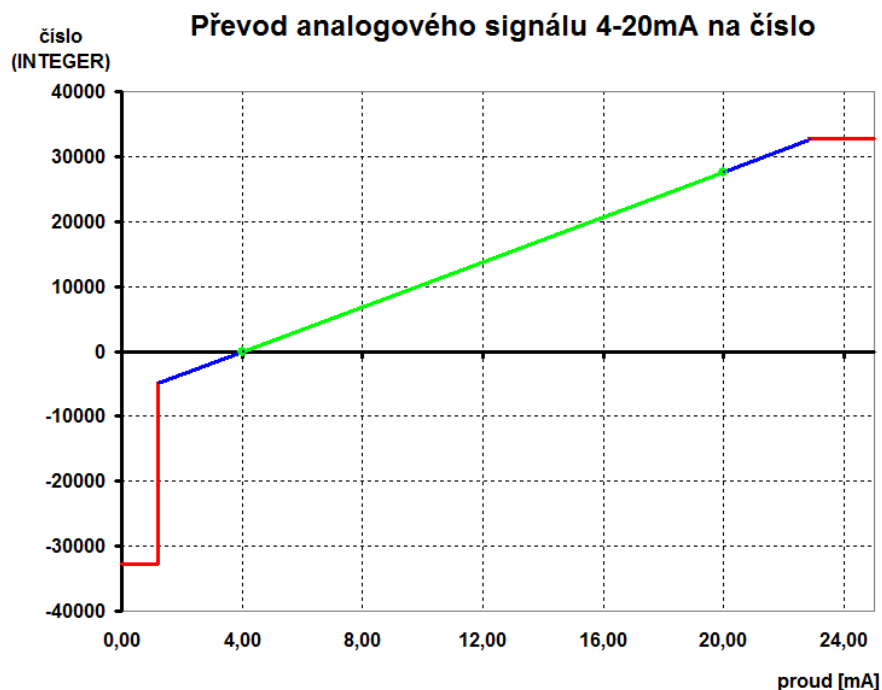
Analogový vstupní modul 6ES7 134-4GB11-0AB0 (technická data):

Počet měřicích kanálů:	2
Měřicí princip převodníku:	integrační
Integrační čas [ms]:	20
Převodní čas [ms]:	65
Měřený signál:	proud
Vstupní rozsah:	$\pm 20\text{mA}$, rozlišení 13 bitů + znaménko 4 - 20mA, rozlišení 13 bitů
Linearita:	$\pm 0,01\%$
Opakovatelnost:	$\pm 0,05\%$
Parametry připojitelného senzoru:	$\pm 20\text{mA}/50\Omega$ 4 - 20mA/50 Ω

Dvoukanálový analogový vstupní modul využívá k převodu signálů z obou kanálů jediný AD převodník, uvedený převodní čas platí pro jeden kanál. Podle manuálu k převodníku se čas převodního cyklu vypočítá jako součin převodního času s počtem aktivních kanálů. Nepoužitý kanál je možné deaktivovat a tím se dostat na převodní čas uvedený výrobcem. [8]

Převod proudového signálu 4 - 20mA na digitální číslo:		
Rozsah	Proud na vstupu AI [A]	Reprezentace v desítkové soustavě
Přetečení	$> 22,8142$	32 767
Překročení rozsahu	22,8142	32 511
	\vdots 20,0005	\vdots 27 649
Jmenovitý rozsah	20,000 0	27 648
	\vdots 4,000 0	\vdots 0
Překročení rozsahu	3,9995	-1
	\vdots 1,1852	\vdots -4 864
Přetečení	$< 1,1852$	-32 768

Tabulka zobrazuje převod vstupního proudového signálu 4 - 20mA na číslo v desítkové soustavě, totéž je vidět z grafu viz. Obr. 16 . Jmenovitý rozsah je znázorněn zelenou barvou, překročení rozsahu modrou a přetečení červenou barvou.



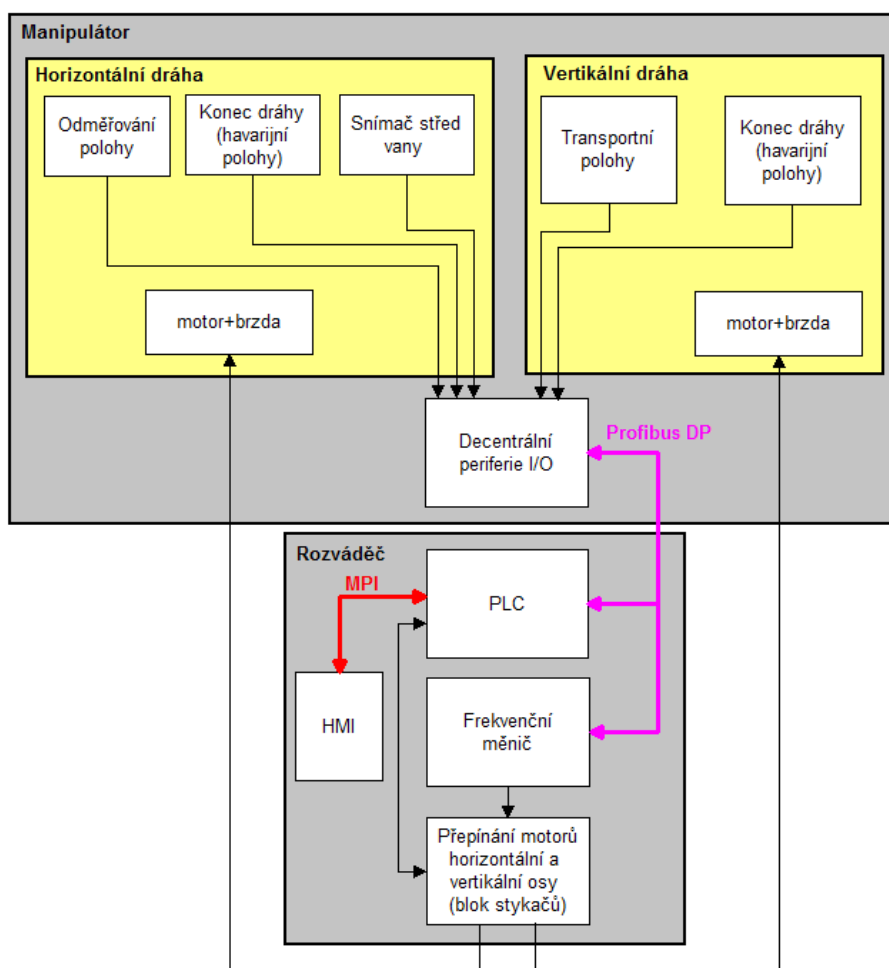
Obr. 16 Převod analogového signálu ze snímače na číslo [8]

4.4.4 HMI

Rozhraní neboli interface mezi obsluhou galvanizační linky a řídicím systémem bude tvořen operátorským panelem TP177A vybaveným dotykovým grafickým displejem, objednáací číslo panelu: 6AV6 642-0AA11-0AX1. Operátorský panel je určen pro vizualizaci technologického procesu a k nastavování parametrů linky.

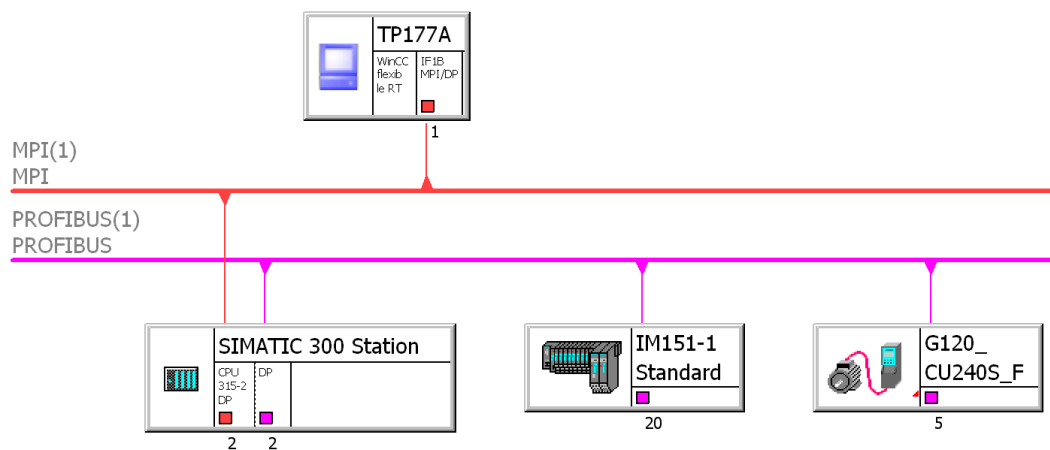
4.4.5 Blokové schéma řízení manipulátoru

Základní sestava PLC bude společně s frekvenčním měničem umístěna v rozváděči elektrického napětí. Manipulátor bude vybaven rozvodnicí připojenou pohyblivými přívody k rozváděči. Rozvodnice manipulátoru bude osazena decentrální periferií, komunikující po sběrnici Profibus DP, viz Obr. 17.



Obr. 17 Blokové schéma řízení manipulátoru

Centrální procesorová jednotka obsahuje dvě komunikační rozhraní: Profibus DP a MPI. Řídicí systém dále obsahuje decentrální periférii umístěnou v rozvodnici na manipulátoru. Centrální procesorová jednotka CPU 315-2 DP je DP Master na sběrnici Profibus DP, připojená decentrální periférie a frekvenční měnič jsou DP Slave. Zobrazovač TP177A komunikuje s centrální procesorovou jednotkou po sběrnici MPI. Obr. 18 znázorňuje topologii sběrnic Profibus DP a MPI z nástroje Netpro integrovaného do vývojového prostředí STEP 7.



Obr. 18 Topologie sběrnic Profibus DP a MPI

5 REALIZACE

Modernizace zařízení probíhala v několika etapách. Nejdříve byl vyroben a osazen elektrickými přístroji ovládací pult a rozvodnice sloužící k napájení, řízení, ovládání a signalizaci provozních stavů linky. Dále byl položen rozvod kabelového vedení po stroji, instalovány a připojeny prvky elektrovýzbroje linky.

Během oživování linky byl nastaven snímač odměřování polohy horizontální osy manipulátoru a další snímače provozních stavů linky.

Dalším krokem bylo nastavení parametrů frekvenčního měniče, naprogramování PLC a zobrazovacího panelu. Na závěr byla funkce celého zařízení testována ve zkušebním provozu.

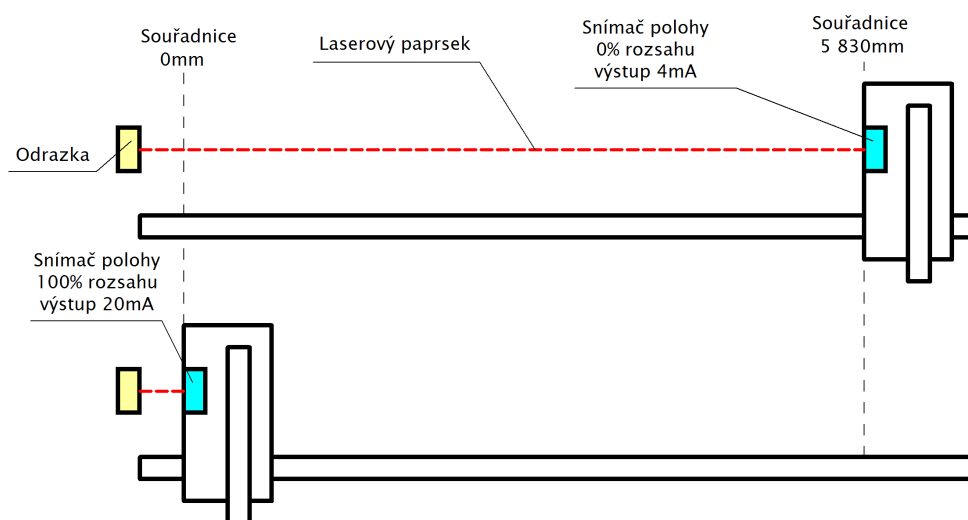
5.1 Odměřování polohy horizontální osy

5.1.1 Nastavení snímače

Nastavení bylo prováděno dle doporučení výrobce snímače. Při nastavování snímače nastaly problémy s ukládáním hodnot, před vlastním nastavováním se osvědčilo uvést snímač do továrního nastavení.

Snímač je možné provozovat ve *Fast módu* nebo *Slow módu*. Snímač ve *Slow módu* dosahuje lepší opakovatelnosti s delším časem odezvy, ve *Fast módu* je to opačně. Tovární nastavení snímače je *Fast mód*, na lince je snímač přepnut do *Slow módu*.

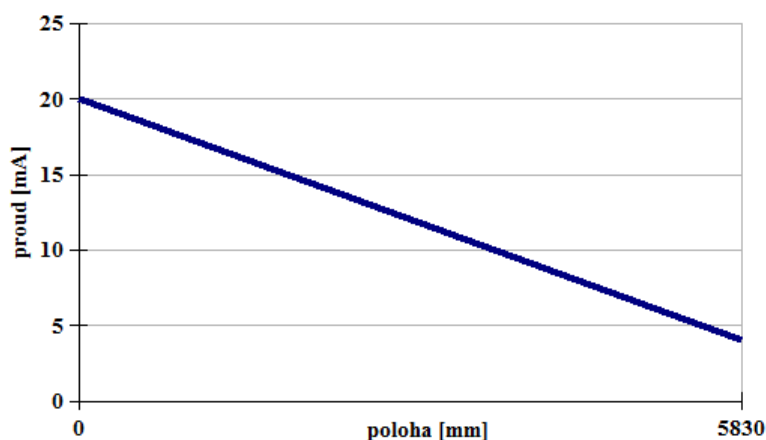
Dráha horizontálního pojezdu je dlouhá 5 830mm. Souřadnice horizontální osy vychází z technické dokumentace linky. Nastavení snímače je zřejmé z Obr. 19, použité hodnoty jsou uvedeny v tabulce pod obrázkem.



Obr. 19 Nastavení snímače polohy horizontální osy

	Tovární nastavení:	Použité nastavení:
Měřicí rozsah [mm]:	0 – 30 000	0 – 5 830
0% rozsahu, výstupní proud 4mA [mm]:	30 000	5 830
100% rozsahu výstupní proud 20mA [mm]:	0	0
Opakovatelnost [mm]:	±10	±5
Doba odezvy [ms]:	30	65

Na Obr. 20 je znázorněna závislost výstupního proudu snímače v rozsahu 4 - 20mA na poloze horizontální osy manipulátoru.



Obr. 20 Závislost výstupního signálu snímače na poloze horizontální osy

5.1.2 Konfigurace analogového vstupního modulu

Sestava řídicího systému se vytváří a konfiguruje ve vývojovém prostředí STEP 7 nástrojem HW Config. Nástroj umožňuje nastavit adresy modulů a parametry určující jejich vlastnosti.

Snímač polohy je připojen na *Kanál 0* dvoukanálového analogového vstupního modulu 6ES7 134-4GB11-0AB0. Parametr určující měřenou veličinu je nastaven na měření proudu v rozsahu 4 – 20mA s čtyřvodičovým připojením snímače, viz. Obr. 21 .

Čas převodního cyklu modulu je součinem času převodu s počtem aktivních kanálů. Analogový modul je dvoukanálový, proto je nepoužitý *Kanál 1* deaktivován a elektricky spojen se zemí modulu.

Parameter	Value
Inputs	
Group diagnostics	<input type="checkbox"/>
Diagnostics: overflow/underflow	<input type="checkbox"/>
Channel 0	
Type/range of measurement	current (4DMU): 4...20 mA
Diagnostics: wire break	<input type="checkbox"/>
Smoothing	None
Channel 1	
Type/range of measurement	deactivated
Diagnostics: wire break	<input type="checkbox"/>
Smoothing	

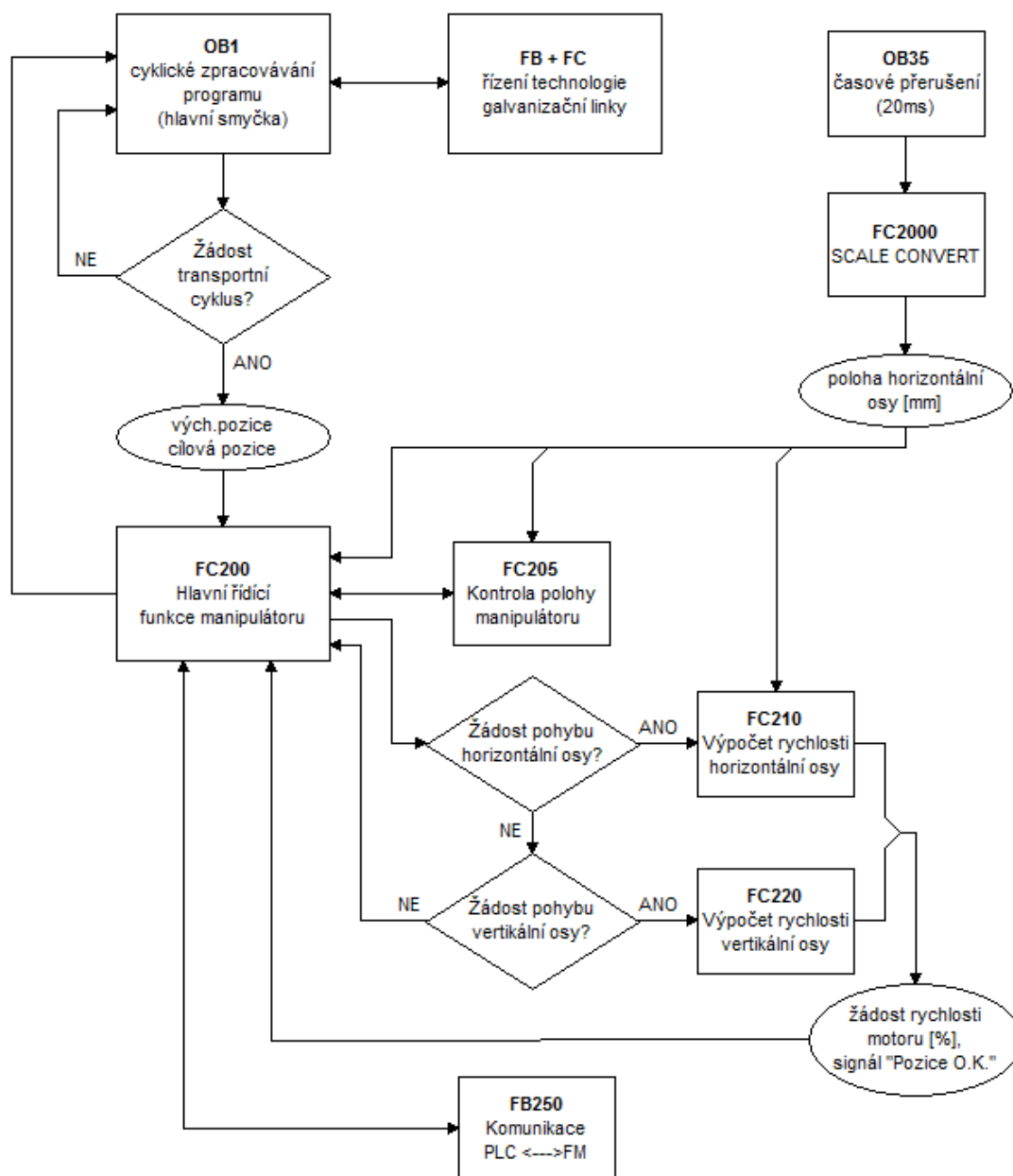
Obr. 21 Nastavení parametrů analogového vstupního modulu z HW Config

5.2 Řízení manipulátoru

Galvanizační linka včetně dvouosého manipulátoru je řízena programem v PLC. Program je rozčleněn do funkčních bloků, bloky programu obsahují uzavřené programové části řešící jednotlivé technologické úlohy.

Hlavní program galvanizační linky je cyklicky volán z organizačního bloku *OB1*. Během zpracování technologického programu se vyhodnocuje, nastal-li požadavek na převoz výrobků z jedné technologické operace do druhé. Je-li žádost na transportní cyklus aktivní, zavolá se *FC200 - Hlavní řídicí funkce manipulátoru*, vstupními parametry jsou čísla výchozí a cílové vany. Funkce řídí kroky transportního cyklu manipulátoru.

Na Obr. 22 je zjednodušené blokové schéma volání funkcí zajišťujících pohyb manipulátoru v automatickém režimu galvanizační linky.



Obr. 22 Blokové schéma řízení pohybů manipulátoru

FC200 – Hlavní řídící funkce manipulátoru

V automatickém cyklu je pohyb manipulátoru řízen *FC200 - Hlavní řídící funkce manipulátoru*. Jejím úkolem je na základě technologických požadavků řídit kroky transportního cyklu manipulátoru.

Vstupními parametry funkce jsou čísla výchozí a cílové vany. Transportní cyklus manipulátoru je sekvencí pěti kroků, viz. Obr. 4. Každý krok manipulátoru je vázán k pohybu konkrétní osy.

Funkce řídí jednotlivé kroky manipulátoru, na základě vykonávaného kroku transportního cyklu volá funkce *FC210 - Výpočet rychlosti horizontální osy (Krok 1, Krok 4)* nebo *FC220 - Výpočet rychlosti vertikální osy (Krok 2, Krok 5)*. Z obou uvedených funkcí může být aktivní nanejvýš jedna, návratovou hodnotou je žádost rychlosti motoru horizontální nebo vertikální osy v procentech. Uvedená funkce dále ovládá blok stykačů sloužících k přepínání motorů a brzd os manipulátoru.

Transportní cyklus manipulátoru začíná *Krokem 1*, tj. přejezdem horizontální osy na pozici vany s vyjímáním košem. PLC pomocí stykačů připojí motor horizontální osy manipulátoru, pošle povel frekvenčnímu měniči aktivovat sadu parametrů motoru horizontální osy. Povel z PLC jsou kontrolovány zpětnou vazbou, nepříjde-li do určité doby odezva od ovládaného zařízení, je vyhlášena porucha. Po obdržení informace o sepnutí stykačů a aktivaci sady parametrů příslušného motoru, pošle funkce frekvenčnímu měniči povel uvolnit koncový stupeň a začne posílat hodnotu žádané rychlosti převzaté z funkcí vyhodnocujících žádanou rychlost manipulátoru. V tomto okamžiku se horizontální osa uvádí do pohybu, po dosažení cílové polohy se manipulátor zastaví. *Krok 1* je ukončen, odpojí se koncový stupeň měniče a odepnou se stykače motoru horizontální osy. *FC200 - Hlavní řídící funkce manipulátoru* pokračuje následujícím krokem automatického cyklu. Aktivace a řízení vertikální osy je shodné s výše popsáním postupem.

K řízení frekvenčního měniče funkce využívá *FB250 – Komunikace PLC ↔ FM*.

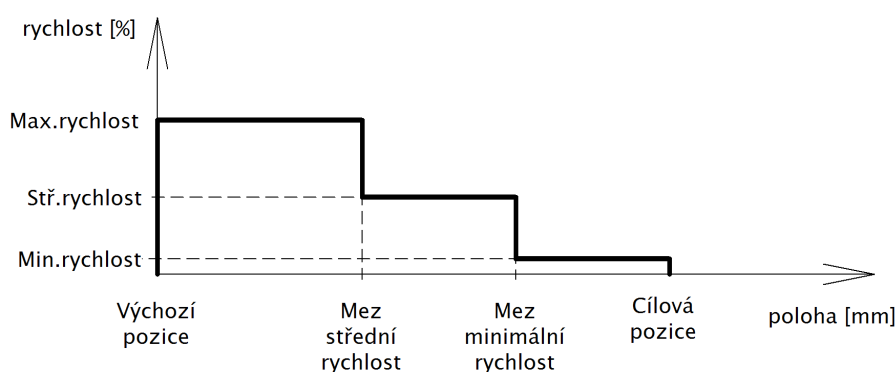
FC205 – Kontrola polohy manipulátoru

Úkolem funkce je zabránit kolizi manipulátoru na koncích dráhy. Výstupem funkce je povolení nebo blokování pohybu manipulátoru. Funkce má význam v případě poruchy nebo v servisním režimu, kdy je manipulátor řízen obsluhou tlačítka z ovládacího panelu. Během automatického provozu linky by manipulátor konce dráhy neměl dosáhnout. Horizontální osa je vedle HW bezpečnostních spínačů doplněna o SW limity zadané formou souřadnic, při jejich dosažení není povoleno pokračovat v pohybu, pohyb je možný jen opačným směrem. Vertikální osa je řešena obdobně, nemá odměřování, SW limity jsou vyhodnoceny na základě signálů ze snímačů horní a dolní koncové polohy osy. Koncové spínače jsou rozpinací, přetržení vodiče nebo kabelu je vyhodnoceno jako dosažení koncové polohy.

FC210 – Výpočet rychlosti horizontální osy

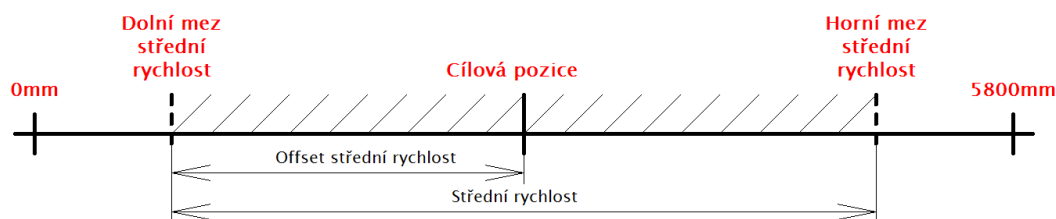
S ohledem na požadované přejezdové časy manipulátoru s velkou tolerancí v zastavování na pozici bylo použito levného snímače polohy s nízkým rozlišením a pomalou odezvou, dále byl použit nejlevnější analogový vstupní modul připojitelný k decentrální periférii. Z tohoto důvodu byl pro řízení horizontální osy zvolen jednoduchý způsob spočívající v rozdělení dráhy na intervaly, v každém intervalu je přednastavena rychlost pohybu manipulátoru.

Vstupními parametry funkce jsou aktuální a cílová poloha, výstupem je požadovaná rychlost motoru v procentech, závisející na intervalu, kde se manipulátor právě nachází.

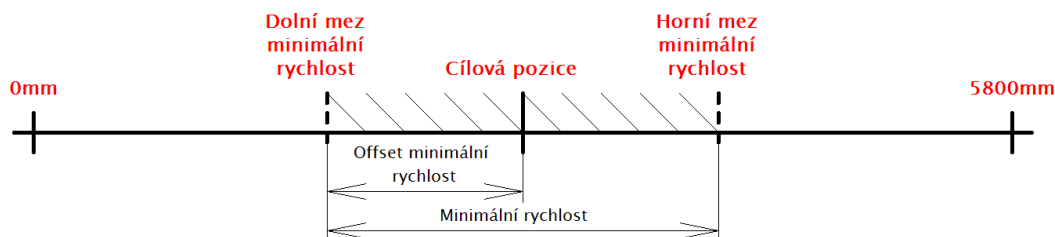


Obr. 23 Vypočtený rychlostní profil dráhy

Před vlastním pohybem horizontální osy funkce vytvoří rychlostní profil dráhy, složený ze třech intervalů, sloužících k přejezdu maximální rychlostí, zpomalení a následnému zastavení osy manipulátoru, viz. Obr. 23. Intervaly jsou nazvány: *Maximální rychlost*, *Střední rychlost*, *Minimální rychlost*. Hranice intervalů jsou zadány formou offsetů, vztažených k cílové souřadnici. Při výpočtu mezi intervalů se nerozlišuje směr pohybu přijíždějícího manipulátoru. K souřadnici cílové pozice se v kladném směru offset přičítá, v záporném směru odečítá, viz. Obr. 24 a Obr. 25. Nastavení offsetů a rychlostí pro jednotlivé intervaly je možné z HMI, po zadání přístupového hesla.



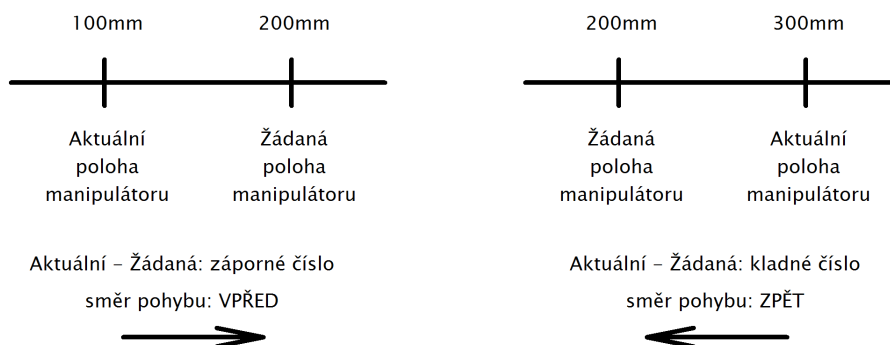
Obr. 24 Interval střední rychlost



Obr. 25 Interval minimální rychlost

Po aktivaci funkce proběhne kontrola polohy manipulátoru, zda-li je aktuální pozice žádanou pozicí. Pokud ano, příznak *Pozice O.K.* se nastaví na logickou 1, funkce se ukončí, *FC200 - Hlavní řídicí funkce manipulátoru* pokračuje následujícím krokem.

Není-li příznak *Pozice O.K.*, proběhne test k vyhodnocení směru pohybu manipulátoru. Směr manipulátoru se určí z rozdílu aktuální a žádané souřadnice, záporný výsledek znamená směr pohybu vpřed, kladný výsledek směr pohybu zpět, viz. Obr. 26. Je-li vyhodnocen směr pohybu zpět, žádaná rychlost motoru v procentech je násobena konstantou -1 zajišťující směr pohybu osy k nulové souřadnici.



Obr. 26 Určení směru pohybu horizontální osy

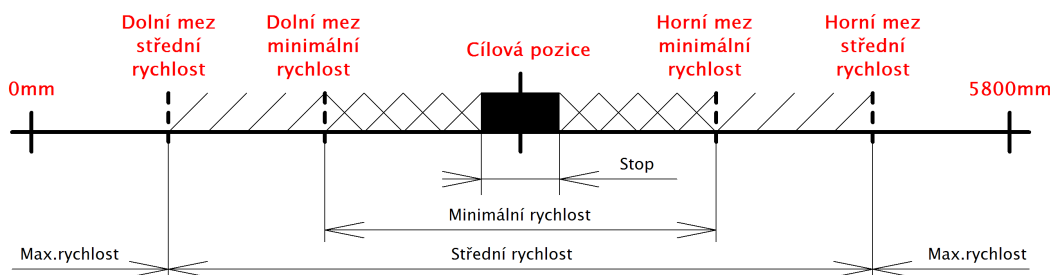
Při jakékoliv změně rychlosti se nová hodnota neposílá do frekvenčního měniče skokově, ale po rychlostní rampě odpovídající zadanému zrychlení nebo zpomalení. Horizontální i vertikální osa používají různé hodnoty.

Hodnota žádané rychlosti motoru určená frekvenčnímu měniči je závislá na intervalu, ve kterém se manipulátor nachází. Nachází-li se manipulátor v intervalu *Maximální rychlost*, po rozjezdu se jeho rychlost zvyšuje až do dosažení přednastavené rychlosti nebo hranice intervalu *Střední rychlost*, kde se po rampě žádaná hodnota rychlosti snižuje. Stejným způsobem manipulátor pokračuje až do intervalu *Minimální rychlost*, rychlost je po rampě opět snížena až na minimální.

Pro zastavení horizontální osy manipulátoru je v okolí *Cílové pozice* vytvořen ještě jeden interval, tzv. *Interval stop*, viz. Obr. 27. Jeho velikost je 6mm na každou stranu od *Cílové pozice*. V *Intervalu stop* se manipulátor pohybuje minimální rychlostí a zastaví po detekci terčíku signalizujícího střed vany. Příznak *Pozice O.K.* je nastaven na logickou 1, stojí-li manipulátor v *Intervalu stop* a zároveň je detekován střed vany.

Nedetekuje-li manipulátor pohybující se v *Intervalu stop* značku středu vany, na hranici *Intervalu stop* reverzuje, vrací se zpět a hledá středovou značku z opačné strany. Pokud se ani tentokrát nepodaří v *Intervalu stop* značku středu nalézt, manipulátor se zastaví a je vyhlášena porucha.

Výhodou použité funkce je její jednoduchost. V případě přejetí zadané souřadnice funkce obrací znaménko žádané rychlosti, manipulátor se začne vracet zpět.



Obr. 27 Rychlostní profil dráhy

FC220 - Výpočet rychlosti vertikální osy

Vertikální osa manipulátoru přejíždí mezi horní a dolní transportní polohou nízkou rychlostí s velkou tolerancí pro zastavení. Obě polohy jsou signalizovány indukčními snímači, pro případ přejetí zastavovacích snímačů jsou na dráze vertikální osy ještě další koncové spínače bránící vyjetí vertikální osy z dráhy.

Přejezdová rychlost vertikální osy se nastavuje v procentech z HMI parametrem *Rychlost vertikální osy*. Při požadavku na pohyb vertikální osy se z čísla kroku automatického cyklu vyhodnotí směr pohybu, pro pohyb směrem dolů se žádaná rychlost motoru násobí konstantou -1 .

Stejně jako u vodorovné osy se nová hodnota žádané rychlosti neposílá do frekvenčního měniče skokově, ale po rychlostní rampě odpovídající zadanému zrychlení nebo zpomalení. Svislý pohyb je ukončen na základě signálu z indukčního snímače informujícího o dosažení cílové pozice. Příznak *Pozice O.K.* je nastaven na logickou 1, stojí-li manipulátor na cílové pozici.

FB250 - Komunikace PLC ↔ FM

PLC řídí frekvenční měnič po sběrnici Profibus DP, na sběrnici je připojena i decentrální periferie. Komunikace mezi zařízeními je typu Master / Slave, Master je PLC, Slavy jsou frekvenční měnič a decentrální periferie.

Zařízení připojená ke sběrnici Profibus DP spolu komunikují pomocí telegramů. Pro řízení frekvenčního měniče byl naprogramován funkční blok *FB250 – Komunikace PLC <--> FM*, obsluhující *Standard Telegram 1* rozšířený o volbu *DDS* a přenos kódu poslední chyby. Na straně frekvenčního měniče je nutné provést konfiguraci telegramu podle následující tabulky.

Délka telegramu jsou 4 wordy, *DDS* obsahují parametry jednotlivých motorů. Funkční blok vyžaduje v CPU systémové funkce *SFC14* a *SFC15* sloužící pro konzistentní čtení a konzistentní zápis periferních dat.

Žádanou rychlost motoru posílá PLC frekvenčnímu měniči v rozsahu 0 až 100% otáček za minutu, pro kladný směr otáčení se zadávají kladné hodnoty rychlosti, pro záporný směr záporné hodnoty.

Funkčním blokem *FB250 – Komunikace PLC <--> FM* je možno řídit i další frekvenční měniče, např. Micromaster MM420, MM430 a MM440 nebo Sinamics G130, G150, S120, S150.

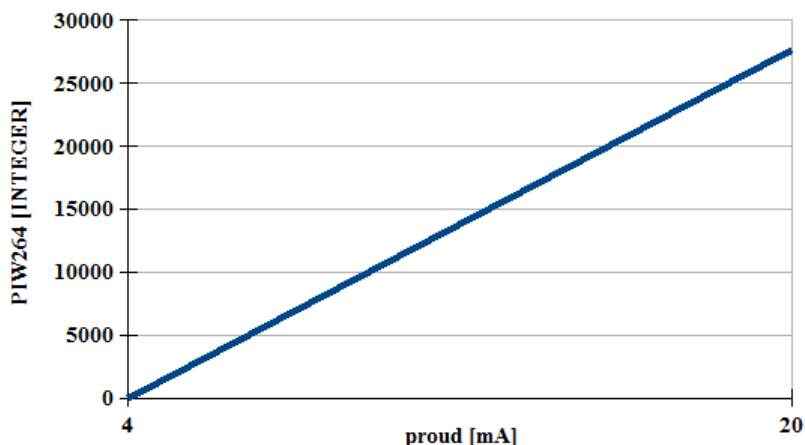
Struktura telegramu:

	PLC → frekvenční měnič	Frekvenční měnič → PLC
Word 1:	Standard Telegram 1 Control Word 1	Standard Telegram 1 Status Word 1
Word 2:	Standard Telegram 1 žádaná rychlost 0-100%	Standard Telegram 1 aktuální rychlost 0-100%
Word 3:	nepoužito	kód poslední poruchy
Word 4:	volba DDS	aktivní DDS

FC2000 – SCALE CONVERT

Funkce slouží pro výpočet polohy horizontální osy manipulátoru, výstupem je aktuální poloha horizontální osy v mm.

Proudový signál ze snímače polohy horizontální osy je přiveden na analogový vstupní modul decentrální periferie PLC. Modul převádí vstupní proudový signál na odpovídající číslo v digitální podobě, viz. Obr. 28, ze kterého lze vypočítat aktuální polohu horizontální osy. Adresa analogového vstupu je v hardwarové konfiguraci nastavena na PIW264.



Obr. 28 Převod proudového signálu snímače na číslo typu integer

Analogový signál ze snímače polohy je nyní reprezentován číslem datového typu integer, ze kterého je třeba získat skutečnou polohu manipulátoru v milimetrech. K převodu se využije funkce *SCALE CONVERT* z knihovny Standardních funkcí vývojového prostředí STEP 7.

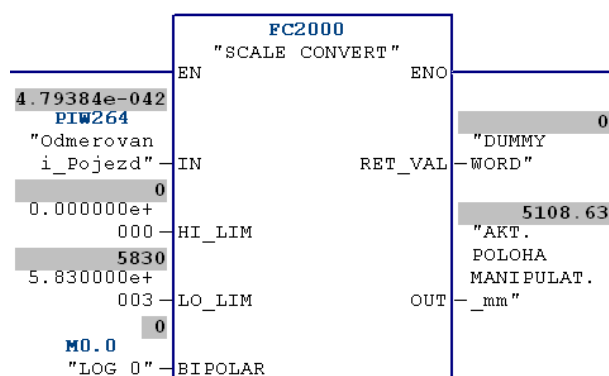
Funkce *SCALE CONVERT* přepočítává celá čísla typu integer na reálná čísla typu float v intervalu mezi dolním a horním limitem podle vzorce (2).

$$OUT = \frac{float(IN) - K_1}{K_2 - K_1} \cdot (HI_LIM - LO_LIM) + LO_LIM \quad (2)$$

Parametry dolní limit *LO_LIM* a horní limit *HI_LIM* jsou konstanty, jejichž hodnoty odpovídají počáteční a koncové souřadnici měřicího rozsahu snímače. Na vstup funkce se zadá adresa PIW264 obsahující informaci o poloze horizontální osy, výstupem funkce je aktuální poloha horizontální osy manipulátoru v milimetrech.

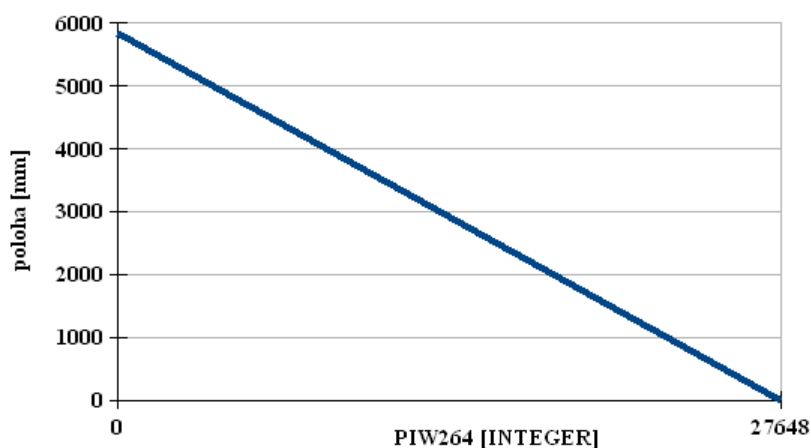
U funkce je využita možnost reverzního škálování, s rostoucí hodnotou celočíselného vstupního signálu klesá hodnota výstupu. Reverzního škálování bylo dosaženo záměnou mezních limitů, dolní limit je větší než horní limit. Parametru dolní limit byla nastavena koncová souřadnice 5 830 milimetrů, parametru horní limit počáteční souřadnice 0 milimetrů.

Na Obr. 29 je zachycena on-line funkce *SCALE CONVERT* z vývojového prostředí STEP 7 počítající aktuální polohu horizontální osy. Funkce je volána v časovém přerušení *OB35* po 20ms, analogový převodník posílá na vstup funkce informaci o poloze každých 65ms, každá obdržená hodnota z převodníku je v PLC přečtena třikrát.



Obr. 29 Funkce SCALE CONVERT počítající hodnotu souřadnice horizontální osy

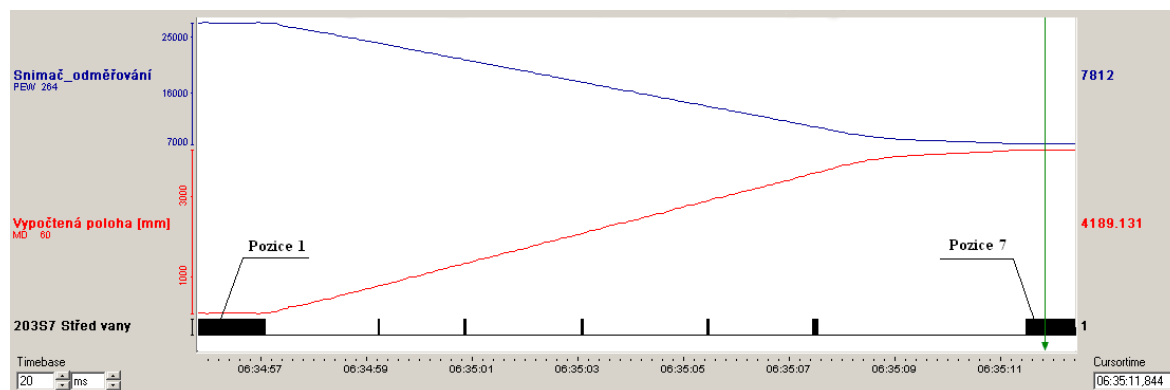
Převod celého čísla z analogového vstupního modulu na skutečnou polohu horizontální osy manipulátoru v milimetrech je na Obr. 30.



Obr. 30 Převod celého čísla z analogového vstupního modulu na polohu v milimetrech

Obr. 31 pochází z PLC Analyzery, což je softwarový nástroj umožňující on-line zaznamenávat a zobrazovat časové průběhy vybraných signálů v reálném čase.

Na obrázku je zachycen průběh přejezdu horizontální osy manipulátoru z Pozice 1 do Pozice 7. Modrá křivka představuje signál ze snímače polohy horizontální osy upravený analogovým vstupním modulem, červená křivka je vypočtená poloha horizontální osy manipulátoru v milimetrech, černě je znázorněn signál ze snímače středu vany.



Obr. 31 Přejezd horizontální osy manipulátoru z Pozice 1 na Pozici 7

6 ZÁVĚR

V bakalářské práci je řešena problematika nahrazení nevyhovujícího reléového řízení jednoúčelového dvouosého manipulátoru digitálním řízením s frekvenčním měničem.

Po seznámení se se stávajícím řízením manipulátoru, parametry požadovanými technologií a analýze aktuálních potřeb na řízení manipulátoru bylo navrženo a realizováno vhodné řešení.

Dle požadavků zadavatelské firmy byly použity komponenty řídicího systému firmy Siemens. K řízení manipulátoru a celé galvanizační linky byl zvolen modulární řídicí systém S7-300, asynchronní motory pohánějící osy manipulátoru řídí jediný frekvenční měnič Sinamics G120.

Původní nevyhovující vyhodnocování polohy horizontální osy manipulátoru bylo nahrazeno odměřováním polohy pomocí optoelektronického snímače.

Elektroinstalace galvanizační linky byla kompletně demontována a nahrazena novou elektroinstalací. Z původní elektrovýzbroje linky se zachovaly pouze asynchronní motory s převodovkami k pohánění os manipulátoru. Díky modernizaci řídicího systému byl rozváděč nahrazen ovládacím pultem mnohem menších rozměrů se zabudovaným zobrazovacím panelem sloužícím k ovládání a monitorování stavů linky.

Dalším požadavkem zadavatelské firmy bylo minimalizovat finanční nároky na nové řízení linky. Navržené řešení je ekonomicky výhodné, k řízení dvou motorů se použil pouze jeden frekvenční měnič, levný snímač polohy horizontální osy, levný AD převodník a jednoduché funkční řízení. Použitím jediného frekvenčního měniče se snížily náklady přibližně o 30 000 Kč. Motor horizontální osy je řízen v otevřené smyčce bez snímače rychlosti, což znamená další finanční úsporu za snímač a zařízení potřebné k vyhodnocení rychlosti.

Navržené řešení se podařilo realizovat. Linka je aktuálně provozována v nepřetržitém třísměnném provozu bez zjevných problémů. Zákazník je s funkcí linky spokojen a plánuje modernizaci dalších linek. Řízení manipulátoru je aplikovatelné i na jiné výrobní linky, jejichž součástí jsou manipulátory zajišťující transport výrobků.

Modernizace řízení jednoúčelového dvouosého manipulátoru byla provedena na lince s jedním manipulátorem. V praxi se běžně používají linky mnohem větších rozměrů s více manipulátory na jedné pojezdové dráze. Navržené řešení řízení manipulátorů lze s úspěchem použít i na těchto linkách, s počtem a výkonem manipulátorů se zvyšuje ekonomická výhodnost použitého řízení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SKALICKÝ, Jiří. *Elektrické regulované pohony*. Brno : Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, 2007.
- [2] SKALICKÝ, Jiří. *Teorie řízení I*. 1. vyd. Brno: VUT FEKT, 2002, 98 s. ISBN 80-214-2112-6.
- [3] FRADEN, Jacobs. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 3rd ed. New York: Springer-Verlag, c2004, xvii, 589 s. ISBN 03-870-0750-4.
- [4] PALOJÄRVI, Pasi. *Integrated electronic and optoelectronic circuits and devices for pulsed time-of-flight laser rangefinding*. Oulu: Oulun yliopisto, 2003. ISBN 95-142-6966-7.
- [5] POSUZOVÁNÍ BEZPEČNOSTI PROVOZU LASERŮ VE VOJENSKÝCH VÝCVIKOVÝCH PROSTORECH [online]. Praha, 2005 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.oos.army.cz/cos/cos/051636.pdf>
- [6] IM151-1 BASIC interface module: (6ES7151-1CA00-0AB0) [Manual]. 07/2008. A5E01075925-02.
- [7] Doleček, J.: Moderní učebnice elektroniky 6. díl – Kmitočtové filtry, generátory signálů a převodníky dat. Nakladatelství BEN – technická literatura. Praha 2009
- [8] SIMATIC ET 200S distributed I/O 2AI I 4WIRE ST analog electronic module: (6ES7134-4GB11-0AB0) [Manual]. 04/2007. A5E01076100-01.
- [9] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 199 s. ISBN 80-730-0114-4.
- [10] SensoPart Industriesensorik GmbH. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: [http://www.sensopart.com/en/products/optical-sensors/analogue-sensors/detail/23/flypage/247?product_type_id=8&product_type_8_product_range_comp=in&product_type_8_product_range\[0\]=30000&sef=hcfp](http://www.sensopart.com/en/products/optical-sensors/analogue-sensors/detail/23/flypage/247?product_type_id=8&product_type_8_product_range_comp=in&product_type_8_product_range[0]=30000&sef=hcfp)
- [11] SINAMICS - Low Voltage Projektierungshandbuch. Version 6.0 - Juni 2010 : Siemens AG, 2010